VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

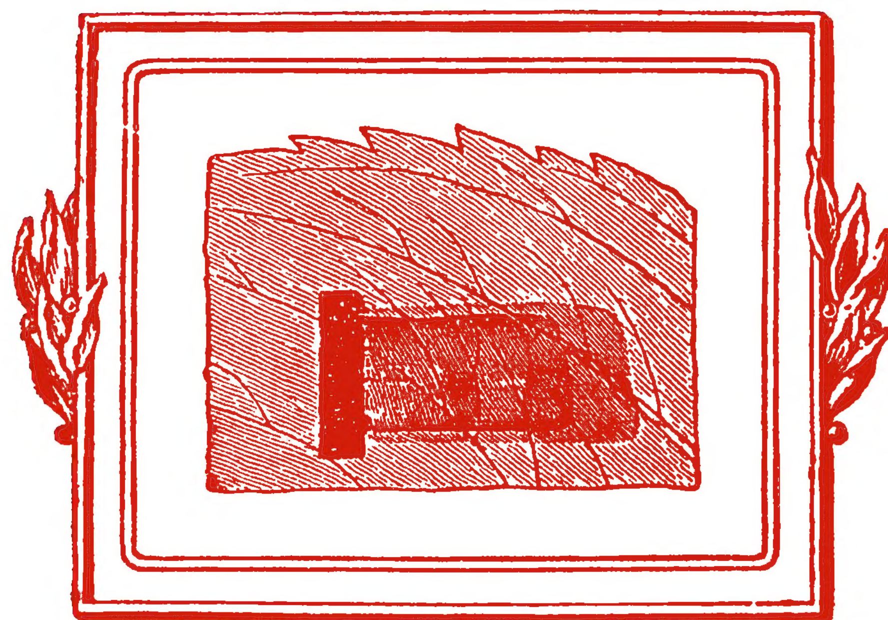
КЛАССИКИ НАУКИ



К. А. ТИМИРЯЗЕВ

ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ ПО ХЛОРОФИЛЛУ И УСВОЕНИЮ СВЕТА РАСТЕНИЕМ

РЕДАКЦИЯ АКАДЕМИКА Н. А. МАКСИМОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1948

Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы

Председатель Комиссии президент Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ*

Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР
П. Ф. ЮДИН


ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ ПО ХЛОРОФИЛЛУ
* К.А.ТИМИРЯЗЕВ *

ПРИБОР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПИТАНИЯ ЛИСТЬЕВ И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЯМ ПОДОБНОГО РОДА

Труды 1-го съезда русск. естествоисп. и врачей, отдел. ботан. СПБ. 1867

Усвоение углерода зелеными частями растений под влиянием солнечных лучей, без сомнения, самое важное, самое, если можно так выразиться, типическое отправление растительного организма. Процесс этот одним из первых сделался предметом опытных исследований. Понятно, что мысль о происхождении углерода растений из воздуха, мысль о воздушном питании листьев, могла возникнуть только тогда, когда, вследствие великих открытий Л а в у а з ь е, был создан закон неисчезаемости вещества. К этому времени, т. е. к концу истекшего и к первым годам настоящего столетия, и относятся важнейшие, классические работы по этому вопросу; с тех пор наука ничего или почти ничего не приобрела в этом направлении.

Но между тем в параллель с величайшим научным обобщением восемнадцатого столетия — законом неисчезаемости вещества — девятнадцатый век провозгласил другой закон, не менее общий, не менее богатый последствиями, — закон неисчезаемости или сохранения силы. Этот закон, столь плодотворный, проливший столько света в других областях знания, в физике, в химии, в физиологии животных, не мог остаться без влияния на физиологию растений.

В процессе усвоения углерода следует различать собственно два процесса: восстановление, или вернее диссоциацию углекислоты и, по всей вероятности, воды, и образование из продуктов разложения органического вещества. Тот и другой процесс сопровождаются поглощением живой силы, как это, очевидно, вытекает из исследований С. Клер-Девиля[1] и Бертло.[2] Первый показал, что диссоциация углекислоты может быть произведена при высокой температуре, а второй, — что синтез органического вещества сопровождается значительным поглощением теплоты. Источник этих сил, необходимых для образования органического вещества в растеньи — солнце.

Согласно с расширением воззрений, господствующих в науке, изменяется и задача исследователя. На основании всего сказанного, наука, при исследовании занимающего нас явления, не может в настоящее время довольствоваться одним количественным определением превращающихся при этом процессе веществ, она должна стремиться к столь же строгому учету тех сил, которые участвуют в этом явлении.

Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, проследить их участь в растеньи до их уничтожения, т. е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой, — вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к достижению которой должны быть дружно направлены все силы физиологов.

А между тем, если обратиться к истории этого вопроса, убеждаешься, как бедна изысканиями подобного рода ботаническая литература. Можно сказать, что со времени Соссюра наука нисколько не подвинулась в понимании этого явления.

[1] Leçons sur la dissociation.

[2] Méthodes génerales de Synthèse organique и Thermochimie в An. de Ch. 97, 1865.

Одна из главнейших причин этого застоя заключалась в отсутствии простого, легкого, но в то же время точного способа исследования этого явления. Существовали превосходные точные способы, но они были применимы лишь для простого количественного определения углекислоты и выделяющегося кислорода. Голое констатирование этого факта разложения углекислоты представлялось уже сложным, затруднительным опытом, каково, например, классическое исследование Буссенго над лозой. Производить же эти опыты при измененных химических и физических условиях было решительно невозможно. С другой стороны, всякий раз, когда желали делать подобные исследования, приходилось удовлетворяться менее точными методами, дававшими сомнительные результаты. Следующий пример лучше всего объяснит высказанную мысль. Разложение углекислоты в различных частях солнечного спектра составляло предмет исследований целого ряда ученых: Добени, Дрепер, Гарднер, Гунт, Гладстон, Клоез, Сакс, Волков — один за другим занимались этим вопросом. Повидимому, предмет этот имеет обширную литературу, и однако, если тщательно анализировать эти работы, окажется, что ни одна из них не выдерживает строгой критики с точки зрения методов, употребленных их авторами. Достаточно, например, указать на громадный процент азота, полученный всеми без исключения исследователями. Притом замечательно, что позднейшие работы уступают во всех отношениях более старым; так Сакс и Волков уже отступились от строго количественного, химического пути, и как бы обошли вопрос, ограничиваясь счетом пузырьков газа непостоянного состава. [1]

[1] В настоящее время этот недостаток исследования о влиянии различных частей солнечного спектра на разложение углекислоты отчасти пополнен работой Кальте (Comptes Rendus, 1867, LXV, 8), произведенной, повидимому, по способу Буссенго.

Приведенный пример доказывает, что в науке ощущался недостаток в простом, но точном способе исследования этого явления. Этот недостаток пополнен, этот способ дал в последнее время Буссенго. В ряде мемуаров «Sur la fonction des feuilles» [1] этот ученый в первый раз употребил метод, дозволяющий изучить это явление в его простейшей форме, т. е. над одним листом, и притом со всей требуемой точностью и при всевозможных искусственных условиях. Но, к сожалению, в этих мемуарах [2] мы не находим никаких указаний ни на устройство прибора, ни на приемы исследования, словом, ничего, относящегося до экспериментальной стороны вопроса. В них даже встречаются некоторые противоречия, приводящие сначала в сомнение: так, например, Буссенго говорит, что сосуд, в котором помещались листья, замыкался ртутью, и, вслед за тем, приводит целый ряд наблюдений над вредным влиянием ртутных испарений.

Занимаясь летом прошлого, 1867, года исследованиями над воздушным питанием листьев, я старался устроить прибор по возможности простой и удобный и после нескольких попыток остановился на следующем, к описанию которого и перехожу.

Состоит он из обыкновенной, так называемой абсорбционной, трубки с кубическим делением на $^1/_2$ и $^1/_5$ доли кубического сантиметра. Понятно, что точность результатов при той и другой трубке одинакова, если для исследования берется лист с произвольною поверхностью, но при данном листе с небольшой поверхностью следует оказывать предпочтение второй, как более чувствительной. Трубка погружается в небольшую ртутную ванну. [3] Лист вводится в трубку посредством весьма простого

---

[1] Comptes Rendus 1866—66.

[2] Они составляют часть подготовляемого автором большого сочинения.

[3] Благодаря этому приспособлению можно обходиться незначительным количеством ртути что во многих отношениях удобно, и притом лист не приходит в прикосновение со ртутью, что было бы неизбежно при обыкновенном наполнении трубки ртутью.

приспособления: в небольшую перекладину из пробки величиною в диаметр трубки вставляется запаянный снизу кончик стеклянной трубки; трубочка эта наполняется водою и в нее погружается черешком или влагалищем (у злаков) испытуе-

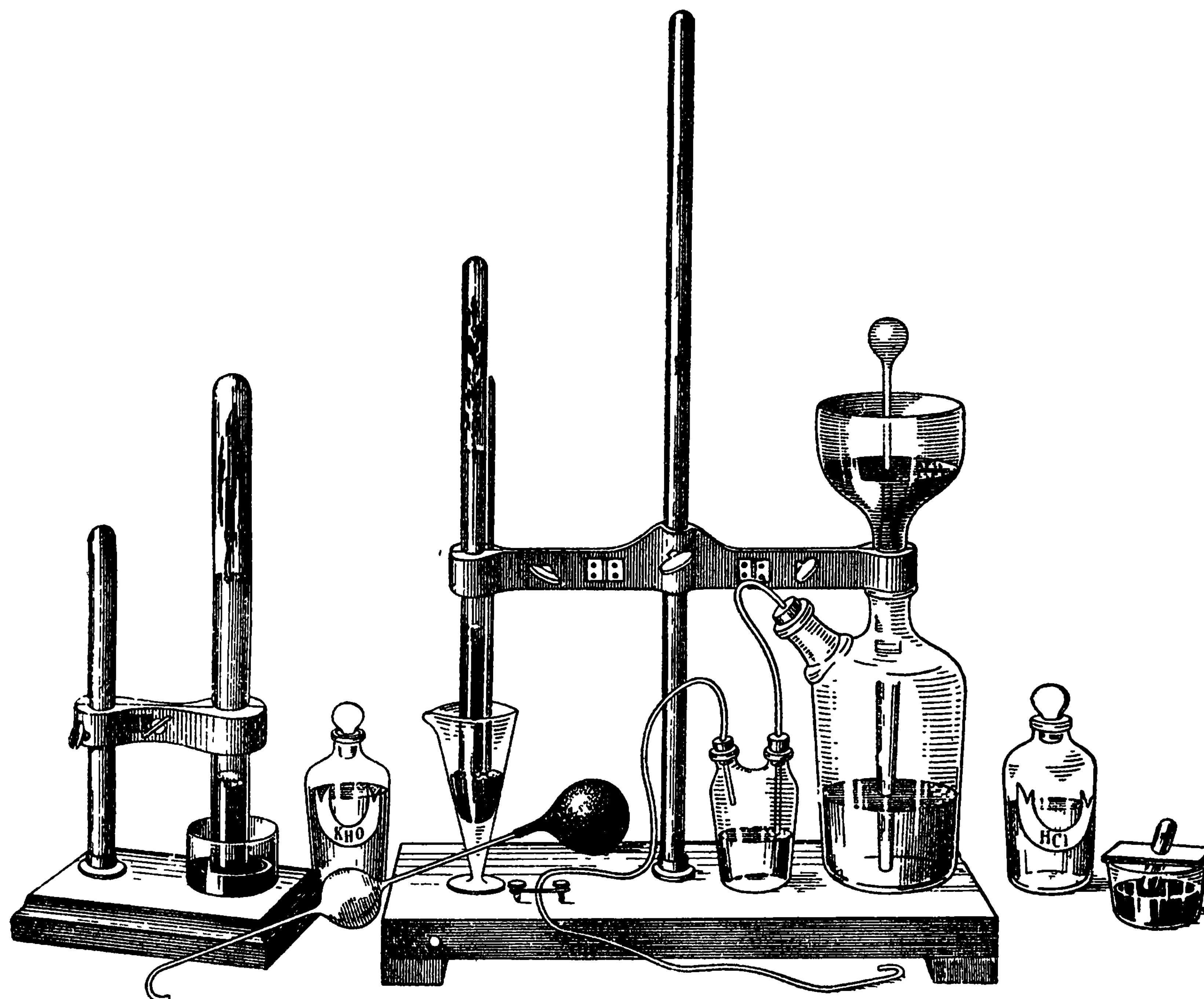


Рис. 1.

мый лист. Таким образом лист осторожно вдвигается в верхнюю часть трубки. Для получения определенного объема воздуха ртуть всасывается в трубку до желаемой высоты посредством введения в нее каучуковой трубочки, которая затем вытягивается; для устранения вредного влияния ртутных испарений и для поддержания атмосферы влажною поверхность ртути покрывается тонким слоем воды, которую вводят туда посредством обыкновенной пипеты с каучуковым шаром.

Производят отсчитывание, наблюдая температуру и высоту барометра. Из прибора, служащего газометром, [1] пропускают желаемый объем углекислоты, [2] что достигается со всею желаемой точностью посредством так называемого Доэровского зажима. Снова производят отсчитывание и выставляют прибор на свет. По окончании опыта отсчитывают остаток углекислоты, поглощая едким кали, вводимым посредством пипеты, и снова отсчитывают. Из разности углекислоты до и после опыта заключают о количестве ее исчезнувшем, т. е. разложенным листом. [3]

[1] Обыкновенного так называемого Либихова прибора для сернистого водорода.

[2] Испытывают предварительно ее чистоту, пропуская несколько пузырьков ее в едкое кали.

[3] Привожу в виде примера весь ход опыта: четыре столбца соответствуют четырем отсчитываниям; v — объем газа, b — высота барометра, b′— высота ртути в трубке, b″ — высота столба воды (в последнем случае раствора едкого кали) над ртутью, t — температура термометра прибора, t′— температура термометра при барометре.

	A.	B.	C.	D.
v	22,6	31,6	32,2	27,8
b	750,1	750,1	747,8	747,4
b′	200	96	89	104
b″	19	19	19	46
t	16°,6 R	16°,9 R	17°,4	17°,4
t′	23°,2	24°	24°	23°

На основании этих данных и принимая во внимание упругость водяного пара при данной температуре (в последнем случае уменьшенную на известную величину вследствие присутствия едкого кали — величина

Удобства этого способа исследования заключаются в следующем: 1) исследование производится над отдельным листом, а не над целым растением (следовательно, не происходит одновременного выделения углекислоты не зелеными частями растенья), и притом в его естественной среде; 2) определяется абсолютное количество углекислоты, а не процентный состав пробы газа, и не определяется ничего лишнего, как, например, кислорода; 3) при исследовании не требуется никаких лабораторных пособий: ни весов, ни аспираторов, ни больших количеств ртути и пр.; 4) наконец, прибор этот вполне переносный; мне случалось производить наблюдения в поле, срывая лист и помещая его тут же рядом в приборе. Таким образом можно изучать это отправление растения при его естественной обстановке: живущего в лесу — в тени, живущего в степи — под палящими лучами солнца. Подобные многочисленные наблюдения помогут, быть может, разъяснить некоторые вопросы географии растений, например, спорный вопрос — могут ли обыкновенные метеорологические данные служить мерилом климатических условий, в которых живет растенье.

Второе, после точного метода, важнейшее условие, о котором должен заботиться исследователь, — это возможность поставить свои наблюдения вне зависимости от случайностей, по возможности иметь их в своей власти. Исследования над усвоением углерода растениями требуют света, а солнечным светом у нас на севере можно пользоваться очень непродолжительное время. По Веселовскому, в Петербурге в среднем выводе бывает не более 150 солнечных дней. Ввиду этого неблагоприят-

---

определена Буссенго) и некоторые другие поправки, получаем объем газа при 0° и нормальной высоте барометра.

Тогда B — A= количеству взятой углекислоты, C — D= количеству оставшейся, (B — A) — (C — D)= количеству углекислоты, разложенной во время опыта.

ного обстоятельства, а также ввиду превосходных результатов, полученных А. С. Фаминцыным относительно воспитывания водорослей при искусственном свете, любопытно было предпринять ряд исследований для прямого разрешения вопроса: разлагают ли растения углекислоту при искусственном освещении. Относительно этого вопроса уже существовали указания в литературе. Так Декандоль и Био наблюдали, происходит ли при искусственном свете выделение газа на поверхности зеленых частей растений, погруженных в воду, и оба пришли к отрицательным результатам.

Декандоль [1] производил свои опыты в погребе, освещенном 6 аргандовыми лампами, свет коих по его мнению равнялся $^5/_6$ солнечного. [2] Листья *Eucomis punctata, Lycium barbarum, Phillyrea media, Sempervivum arboreum, Aristolochia Sipho,* освещенные в продолжении 8 часов, не выделяли газа, а газ, собранный по прошествии 24 часов и подвергнутый анализу Вокленом, содержал всего 2% кислорода.

Био подвергал листья *Agave americana* свету своего геодезического сигнального аппарата и не замечал выделения газа, между тем как он начинал выделяться немедленно, как только выставляли лист на солнце. Таким образом оба исследователя пришли к заключению, что при искусственном свете выделения кислорода не происходит, хотя должно заметить, что при употребленном ими способе исследования небольшие количества кислорода могли ускользнуть от наблюдения. Между тем А. С. Фаминцын получал при ламповом свете вполне нормальное развитие водорослей, образование крахмала и, что всего важнее, выделение на поверхности совершенно здо-

---

[1] Mém. pres. à l'Acad. des Sc. par divers Savants T. I. Expériences relatives a l'influence de la lumière sur les végétaux. Lu le 26 thermidor an 8 § 4.

[2] Это, очевидно, ошибка или опечатка, так как из приводимых им цифр (заимствованных у Румфорда и Бугера) можно заключить, что оно равнялось $^1/_{296}$ солнечного.

ровых организмов пузырьков газа, по всей вероятности, кислорода. [1]

Полученных мною данных еще недостаточно, по причинам изложенным ниже, для произнесения какого-либо окончательного заключения, но из производимых опытов оказывается, что в тех случаях, в которых было замечено разложение углекислоты, оно происходило в самых незначительных размерах, как это можно усмотреть из следующего сравнения разложения при ламповом и солнечном свете. Источником света служил мне фонарь А. С. Фаминцына, описанный им в его работе над крессом, [2] но освещение было слабее, так как то же количество света, которое в его опытах сосредоточивалось на нескольких нитях водоросли, у меня распределялось на сравнительно значительную поверхность листа.

Вот некоторые из полученных мною результатов. Лист олеандра, с поверхностью в 24 кв. см, при ламповом свете в продолжении 12 часов не разложил ничего. Между тем лист *Amygdalus nana* (я выбираю именно его, так как из всех исследованных мною летом листьев он наиболее подходит, по консистенции и цвету, к олеандру) с поверхностью в 7 кв. см при июльском солнце разложил в продолжении 6 часов 4,6 куб. см углекислоты, следовательно поверхность в 24 кв. см, в течение 12 часов разложила бы 32 куб. см.

Опыт, повторенный над подобным же листом олеандра, дал снова отрицательный результат.

Лист папируса с поверхностью в 11,2 кв. см в продолжении 40 часов разложил 1 куб. см; за то же время при летнем солнечном свете одинаковая поверхность листа овса разложила бы 55, проса — 70 куб. см. Все приведенные здесь летние наблюдения произведены при условиях, которые можно считать за

---

[1] Действие света на водоросли и некоторые другие близкие к ним организмы. С.-Петербург, 1866.

[2] Die Wirkung des Lichtes auf das Wachsen der keimenden Kresse. Mémoires de l'Académie, T. VIII, № 15.

maximum инсоляции, так как термометр с черным шариком во все время не показывал менее 30—33 R [1].

Веточка мирта при 12-часовом освещении лампою в одном случае дала 0,8 куб. см, а в другом ничего.

Впрочем, все эти результаты могут быть объяснены болезненным состоянием растительности в эту пору года (в декабре). В подтверждение этого я могу даже привести следующий факт: веточка мирта, выставленная на рассеянный свет в продолжении 6 часов, не разложила ничего.

Для окончательного разрешения вопроса необходимо повторить эти опыты весною или летом, выставляя один и тот же лист несколько раз попеременно в солнечный и ламповый свет.

[1] Наблюдения эти произведены в Симбирской губернии.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗЪ

ХЛОРОФИЛЛА.

РАЗСУЖДЕНІЕ

ПРЕДСТАВЛЕННОЕ ВЪ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКІЙ ФАКУЛЬТЕТЪ ИМПЕРАТОРСКАГО С.-ПЕТЕРБУРГСКАГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНІЯ СТЕПЕНИ МАГИСТРА БОТАНИКИ

К. А. Тимирязевымъ.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.
ТИПОГРАФІЯ ТОВАРИЩЕСТВА «ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»,
по мойкѣ, № 5.
1871.

Титульный лист
первого издания магистерской диссертации К. А. Тимирязева, 1871 г.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХЛОРОФИЛЛА

РАССУЖДЕНИЕ,
ПРЕДСТАВЛЕННОЕ В ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ИМПЕРАТОРСКОГО С.-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕПЕНИ МАГИСТРА БОТАНИКИ
К. А. ТИМИРЯЗЕВЫМ

1871

ПРЕДИСЛОВИЕ

В исследовании, могущем рассчитывать только на ограниченный круг читателей-специалистов, излишне, даже неуместно было бы распространяться о важном физиологическом значении хлорофилла, а следовательно, о том глубоком интересе, который представляет изучение этого тела.

В настоящее время не подлежит сомнению, что зерно хлорофилла — тот орган, в котором неорганическое вещество, углекислота и вода, превращается в органическое, что зерно хлорофилла тот фокус, та точка в мировом пространстве, в которой живая сила солнечного луча, превращаясь в химическое напряжение, слагается, накопляется для того, чтобы впоследствии исподволь освобождаться в тех разнообразных проявлениях движения, которые нам представляют организмы, как растительные, так и животные. Таким образом, зерно хлорофилла — исходная точка всякого органического движения, всего того, что мы разумеем под словом жизнь.

Но если, благодаря новейшим успехам физики и химии, мы настолько подвинулись в общем понимании этого процесса — усвоения углерода растениями, — то самый механизм этого про-

цесса для нас и теперь почти так же темен, как он был за сто лет пред сим.[1] Здесь не место вдаваться в объяснения причины этого непонятного застоя физиологии растений. Очевидно, что для разъяснения сущности этого процесса необходимо вполне изучить физические условия, при которых он происходит (т. е. влияние света, теплоты и проч.), и ближе ознакомиться с веществом, присутствием которого он обусловливается, т. е. с хлорофиллом.

Между тем изучение этого тела сопряжено с непреодолимыми трудностями: во-первых, оно встречается в почти неизмеримо малых количествах, не кристаллизуется, не летуче и т. д., словом, не обладает ни одним из физических свойств, необходимых для получения тела в чистом состоянии. Химическая функция его также неизвестна. Этих условий достаточно, чтобы показать всю бесплодность попыток установить его формулу. И действительно, произведенные элементарные анализы полны противоречия. По мнению одних исследователей, хлорофилл содержит азот; по мнению других, — не содержит его. Содержание углерода колеблется в различных анализах между 48 и 76%, содержание водорода между 5 и 11%. Наконец, бесплодность элементарных анализов становится окончательно очевидной, когда мы узнаем, что даже относительно ближайшего состава существует полное разногласие: по мнению одних, это однородное тело, по мнению других — соединение или смесь двух, трех, четырех или пяти тел.

Таким образом, первый вопрос, который предстоит разрешить, это вопрос о ближайшем составе хлорофилла, но этот-то вопрос, ввиду указанного отсутствия определенных физических свойств, и представляется крайне затруднительным. Значительным пособием в этом отношении, однако, могут служить известные оптические свойства хлорофилла, открытые Брюстером и подробнее описанные Стоксом, именно своеобразное

[1] Великому открытию Пристлея в настоящем году минет ровно 100 лет — оно сделано 18 августа 1771 года.

поглощение света и флуоресценция. Эти признаки драгоценны особенно в том отношении, что они дозволяют нам следить за исследуемым телом во всех операциях, которым оно подвергается, и несомненно указывают тот момент, когда оно начинает изменяться, т. е. терять те свойства, которыми оно отличалось в самом организме, напр., в живом листе. Таким образом, благодаря этому методу исследования, устраняется один важный источник ошибок — становится невозможным смешивать продукты изменения или разрушения с действительными ближайшими составными началами. Плодотворность этого метода исследования с избытком доказывается примером его применения к изучению пигментов крови.

Применение спектрального анализа к определению ближайшего состава хлорофилла составляет предмет настоящего исследования. [1]

Мне казалось, что подобного рода исследование представляет необходимый и самый логический приступ к изучению хлорофилла, но само собою понятно, что его следует рассматривать только как первый шаг, который определит направление дальнейших исследований.

Исследование разделено на три части: в первой приведен сжатый очерк предшествовавших исследований, предпринятых для разъяснения ближайшего состава хлорофилла. Очерк этот дополняется, по возможности, полным сводом литературы, приведенным в конце. Во второй части изложены собственные наблюдения и опыты; в ней приведены только факты и умышленно опущено всякое отношение их к физиологическим явлениям. Эти выводы и заключения составляют предмет третьей части.

Считаю необходимым сказать несколько слов об этой последней части. По самой сущности своей, она имеет совершенно гипотетический характер; это, насколько мне известно, первая

---

[1] Исследование это произведено главным образом в 1869 году, в лаборатории Бунзена, и отчасти в 1870 году, в лаборатории Бертло.

попытка, первое приближение к объяснению физиологической роли хлорофилла. Многие, быть может, найдут ее преждевременной и неуместной, но мне кажется, что в физиологии, как науке по преимуществу дедуктивной, гипотеза имеет вполне законное право на существование, лишь бы пользующиеся этим орудием исследования знали ему цену, не смешивали гипотезы с доказанной теорией.

Гипотеза должна быть только попыткой объяснить явление на основании имеющихся налицо данных. Она представляет только связное изложение наличного, в данный момент, запаса фактов, следовательно, по самой своей природе изменчива. Вероятных объяснений факта много, возможных еще более, истина одна. Умение из массы возможных объяснений факта сразу выхватить единственное истинное — дар немногих избранных умов; масса научных деятелей достигает истины более кропотливым путем исключения возможных и вероятных объяснений до тех пор, пока не наткнется на истину. Это единственный верный путь, каждый шаг на котором составляет приобретение.

Таким образом гипотеза, даже ложная, приносит свою долю пользы: в случае ее опровержения, остается одним возможным объяснением менее, ограничивается число остающихся объяснений, суживается круг, приближающий нас к единственному центру — к истине. В том заслуга всякой гипотезы, в том ее оправдание.

1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Пелтье и Каванту.— Макер-Принсеп.— Кламор-Маркварт. — Берцелиус.— Мульдер.—Моро.—Вердель.—Рисслер.—Фипсон.— Сакс.— Пфаундлер.— Глазевиц. — Фреми (первое исследование). Фильоль.—Кромайер.—Фреми (второе исследование). — Микели.— Фильоль.— Жоден. — Мюллер. — Спектральные исследования.— Брюстер.— Стокс.— Ангстрём.— Гартинг.— Аскенази.— Микели.— Шён.— Луневский.

Первое основательное исследование зеленого начала листьев принадлежит Пелтье и Каванту. Эти исследователи назвали его хлорофиллом. Под хлорофиллом они разумели вещество, извлекаемое алкоголем из свежих частей растений и обработанное кипящей водой. Они верно описали некоторые его свойства — отношение к растворителям, осаждение гидратом глинозема, известковой водой и т. д. Им было известно, что уксусная кислота не изменяет хлорофилла, а минеральные кислоты изменяют; впрочем, по непонятной причине, они делают исключение для серной кислоты, которая, по их мнению, не изменяет хлорофилла.

Следующее, в хронологическом порядке, исследование принадлежит Макер-Принсепу. Его занимал собственно вопрос о переходе зеленого вещества в желтое и красное вещество осенних листьев и в пигменты цветочных покровов. Он не сомневался в происхождении всех этих тел из хлорофилла Пелтье и Каванту, который он называл, по примеру Декандоля, «Chromulle». Превращение зеленого вещества в желтое он считал окислением и описал обратное превращение желтого вещества

осенних листьев в зеленое, при действии щелочей. Впрочем, факт этот был опровергнут Кламор-Марквартом.

Кламор-Маркварт получил хлорофилл тем же способом, как Пелтье и Каванту, за тем исключением, что выпаривал спиртовой раствор и растворял остаток в эфире, для отделения некоторых экстрактивных веществ. Он желал преимущественно определить отношение хлорофилла к синим и желтым пигментам цветочных покровов и пришел на основании своих опытов к заключению, что хлорофилл, соединяясь с водою (при продолжительном соприкосновении с нею), превращается в желтое тело — антоксантин, а теряя воду в соприкосновении с серной кислотой, образует синее тело — антоциан.

Берцелиус изучил хлорофилл основательнее своих предшественников и даже позднейших исследователей. Он полагал возможным различать три видоизменения этого тела, но должно сознаться, что способ их получения и характеристика весьма неопределенны. Вот, вкратце, результат его исследований.

Материалом служили листья *Crataegus aria*, содержащие, судя по темному цвету, много хлорофилла. Из одной порции хлорофилл был немедленно извлечен эфиром и полученный раствор исследован по прошествии полугода. Другая порция была засушена и подвергнута обработке эфиром через несколько месяцев. Она дала менее хлорофилла, и цвет его был желтоватый. Растворы были исследованы отдельно.

Отогнав часть эфира и слив оставшуюся (*a*) с полученного осадка, он подверг этот остаток обработке алкоголем, который извлек из него часть (*b*) высокого зеленого цвета и оставил черноватый остаток (*c*).

Раствор *b* дал *первое видоизменение*, цвета *свежих листьев*; эфирный раствор *a* и нерастворимый в алкоголе осадок *c* — *второе видоизменение*, цвета *сухих листьев*. [1]

[1] Берцелиус не определяет яснее, какой именно цвет он под этим разумеет.

Первое видоизменение, цвета свежих листьев. Спиртовой раствор *b* был выпарен, и остаток растворен в хлористоводородной кислоте. Кислый раствор изумрудно-зеленого (синевато-зеленого?) цвета, при разбавлении водою, давал зеленый, при насыщении мрамором,— бурый осадок. Зеленый осадок, промытый водою, растворялся в алкоголе, с черновато-серым оттенком, но, после 12-часовой обработки концентрированным раствором едкого кали, дал раствор травянисто-зеленого цвета.

Уксусная кислота осаждает из этого раствора хлорофилл в виде зеленых хлопьев. Промытый и высушенный, он представляет настоящий хлорофилл, растворимый в алкоголе, эфире, соляной кислоте и щелочах.

Он несомненно соединяется со щелочами, и алкоголь не извлекает его из этих соединений. С баритом и известью дает нерастворимые осадки. От азотной кислоты принимает желтый цвет (о подобном действии других кислот Берцелиус не упоминает). В толстом слое на свет не представляется красным.

Второе видоизменение, цвета сухих листьев. Эфирный остаток *a* и не растворившаяся в алкоголе часть *c* были смешаны с дымящеюся соляною кислотою, поглощенный эфир заменен новым, смесь взболтана и, по отделении слоев, яркожелтый эфирный слой слит с сине-зеленого кислого раствора; кислый раствор осажден водою и мрамором, полученный осадок снова растворен в соляной кислоте, причем остался черный нерастворимый остаток (см. ниже, третье видоизменение). Полученный кислый раствор более не осаждается водою — это главная его характеристическая черта [1] — и потому был осажден мрамором, в виде бурых хлопьев. Цвет спиртового раствора грязнобурый; в толстом слое, при свечах — *высокий красный.* Остальные свойства те же, что у первого видоизменения.

В щелочах растворяется с той же краской. Продолжительное действие атмосферного воздуха, при значительной поверх-

[1] Этого факта я не могу подтвердить, вероятно, раствор был очень слабой концентрации и потому не осаждался.

ности, ни при обыкновенной температуре, ни при нагревании, не превращает этих растворов в первое видоизменение.

Эфирный раствор, слитый с кислого раствора второго видоизменения, содержит желтое вещество — *ксантофилл.*

Третье видоизменение. Это тот нерастворимый в соляной кислоте осадок, о котором было упомянуто выше. Он отличается грязным цветом и слабою растворимостью в соляной кислоте, алкоголе и эфире; более растворим в щелочах.

Затем Берцелиус обратил внимание на действие солнечного света. Он полагал, что в осенних листьях хлорофилл превращается в ксантофилл, хотя говорит, что всякий хлорофилл содержит желтое тело ксантофилл, следовательно мог бы сделать и другое предположение, что осенью хлорофилл разрушается и остается один ксантофилл. Он полагал, что это превращение — восстановление, на том основании, что сходное изменение вызывает соляная кислота с цинком. Впрочем, он высказывается по этому поводу весьма осторожно, со всевозможными оговорками.

Следующее после Берцелиуса и, очевидно, сделанное под его влиянием исследование принадлежит Мульдеру. Мульдер придерживался метода Берцелиуса, но осаждал кислый раствор мрамором, а не водой. Он первый сделал элементарный анализ, показал, что хлорофилл содержит азот, и старался доказать, что хлорофилл превращается в ксантофилл посредством восстановления.

Моро также придерживался методов Берцелиуса, за чистый хлорофилл принимал осажденный мрамором хлористоводородный раствор, а в спиртовом растворе различал до пяти веществ, которые означал просто буквами А — Е. В исследовании Моро, как и в исследованиях Берцелиуса, достойно замечания, что вещество, осаждаясь из раствора, становится отчасти нерастворимым в своем растворителе. Объяснение этому факту мы найдем ниже. Главные вещества, найденные Моро, были хлорофилл Берцелиуса и желтое вещество (жир, по мне-

нию Моро)— ксантофилл. В желтых, этиолированных и осенних листьях Моро нашел следы вещества, принимавшего от действия кислот синий цвет.

Вердель первый нашел, что хлорофилл содержит железо, и указал на аналогию его в этом отношении с пигментом крови. Свой чистый хлорофилл он получал, осаждая спиртовой раствор известковой водой, разлагая осадок соляной кислотой и взбалтывая кислый раствор с эфиром, который отнимал у него часть растворенного вещества. По поводу присутствия железа в хлорофилле, Рисслер составил целую, более или менее фантастическую, теорию. Он объяснял зеленый цвет растений одновременным присутствием синевато-зеленой закиси и желтой окиси железа и предполагал, что эти два окисла железа образуют гальваническую пару, которая разлагает воду и углекислоту.

Фипсон обратил внимание на то, что желтые листья от действия кислот принимают зеленый или синий цвет. Свежие зеленые листья, при подобной же обработке, сначала буреют, потом синеют.

Подобное же явление было замечено Саксом относительно этиолированных частей растений. По его мнению, в этих частях, ожидающих только известного толчка, сообщаемого светом, чтобы позеленеть, заключается бесцветное тело, лейкофилл, принимающее зеленый или синевато-зеленый цвет при действии кислот. Сакс полагает, что в природе это превращение вызывается озоном.

Пфаундлер подтвердил результаты Верделя относительно содержания в хлорофилле железа и указал на связь между присутствием железа и явлением хлорозиса— связь, экспериментально доказанную гр. Сальм-Горстмаром и Гри старшим. Пфаундлер получал хлорофилл, подвергая свертыванию выжатый сок растений, обрабатывая сверток алкоголем, растворяя в соляной кислоте остаток от выпаривания спиртового раствора и осаждая кислый раствор горячей водой. Таким образом полученный хлорофилл был, следовательно, хлорофилл

Берцелиуса; он оказался бурого цвета с сильной флуоресценцией. Анализ показал, что он не содержит азота. Пфаундлер старался затем проверить справедливость воззрения Глазевица, высказавшего мнение, что многие растительные пигменты, в том числе хлорофилл, быть может, не что иное, как продукты, получающиеся из кверцетина, эскулина и тому подобных тел при действии окиси железа, щелочей и воздуха. Это предположение не оправдалось относительно кверцетина: полученные тела отличались от хлорофилла многими признаками.

Глазевиц выразил также мнение, что хлорофилл, быть может, производное берберина, получающееся при нагревании его до 200° с водою, в запаянной трубке. Продукт этой реакции — тело яркозеленого цвета с красной флуоресценцией; но едва ли это хлорофилл, судя по тому, что с кислотами он окрашивается в красный цвет, вместо синего.

Фреми первый вполне определенно выразил мнение, что хлорофилл состоит из соединения двух цветных начал, именно желтого и синего. На эту мысль его навело дробное осаждение спиртового раствора водой и водным глиноземом, причем первоначально осаждается зеленый, затем желтый лак. Кипящий или концентрированный спирт снова извлекает красящее вещество. Но подобным образом невозможно достигнуть полного разделения. Щелочи, по мнению Фреми, превращают хлорофилл в золотисто-желтое тело, [1] дающее с водным глиноземом желтый лак. Спиртовой раствор этого тела снова окрашивается кислотою в зеленый цвет. Таким образом, по мнению Фреми, щелочи превращают синий пигмент в желтый, а кислоты восстановляют первоначальный синий цвет, который со второю, желтою составною частью дает зеленый. Следующий опыт, повидимому, подтверждает это воззрение самым наглядным образом. Если обработать хлорофилл смесью соляной кислоты и воды, то зеленое вещество сначала буреет, а затем распадается

[1] Факт этот неверен и опровергается второй работой Фреми.

на два слоя: нижний синий, а верхний золотисто-желтый. Фреми называет синее тело *филлоцианином,* желтое — *филлоксантином.* Синее тело при насыщении кислотой превращается в бурое, растворимое в спирте и эфире, которое Фреми называет *филлоксантеином.* Таким образом, филлоцианин и филлоксантеин в сущности одно и то же тело в кислом и среднем растворе. Но Фреми иначе объясняет факт; он считает филлоцианин, т. е. кислый раствор, за неизмененное тело, а филлоксантеин за то же тело, измененное действием оснований. Это вдвойне неверно. Во-первых, изменяющее действие кислот не подлежит сомнению, так как от первых капель жидкость буреет (как показали уже Пелтье и Каванту и другие) и затем уже принимает синий цвет. А во-вторых, щелочи не имеют того действия, которое им приписывает Фреми, и, кроме того, уравнение соляной кислоты может быть произведено мрамором, а продукт будет тот же филлоксантеин.

Филлоксантин Фреми — не что иное, как ксантофилл Берцелиуса, судя по тому, что Фреми нашел его в почти чистом виде в осенних листьях. В молодых этиолированных листьях он нашел, кроме того, филлоксантеин, что обнаруживается их окрашиванием в синий цвет при действии кислот.

Фильоль, в исследовании, посвященном почти исключительно пигментам цветов, указал, что хлорофилл теряет свой зеленый цвет от ничтожных количеств минеральных кислот и некоторых органических, какова щавелевая.

Кромайер поспешил подтвердить теорию Фреми и, желая доказать существование синего тела, приводит положительно не существующие факты. Для получения хлорофилла он подверг свеже-выжатый сок свертыванию, извлек из свертка хлорофилл эфиром, выпарил, обработал спиртовым раствором едкого кали, *уравнил* разбавленный водою щелочной раствор соляною кислотою, причем получил в осадке желтые хлопья и раствор превосходного синего цвета. Этот раствор при выпаривании образовал синие хлопья, которые, будучи *промыты*

водою, дали чистый *филлоцианин,* в виде *темносиней* порошковатой массы. [1] При осаждении раствора в соляной кислоте уксусным свинцом получились подобные же результаты. Кромайер положительно утверждает, что раствор филлоцианина в алкоголе — синего цвета, но никто, ни до него, ни после него, ничего подобного не видал.

Впоследствии Фреми снова вернулся к своей теории и предложил другой способ разделения филлоцианина и филлоксантина, дающий превосходные результаты, но еще менее прежнего подтверждающий существование синего тела. Хлорофилл, или просто спиртовой раствор, или разложенный спиртом лак, осаждается избытком баритовой воды. Из полученного осадка алкоголь извлекает желтое тело — филлоксантин, оставляя нерастворимое зеленое тело, которое Фреми разлагает серной кислотой и полученный синий раствор осаждает щелочью или водой. Этот осадок растворяется в алкоголе и эфире, сообщая растворам оливковый цвет с сильной флуоресценцией. Это тело ввиду того, что оно способно образовать соединения с основаниями (напр. с баритом), Фреми называет *филлоциановой кислотой,* но не высказывается, считает ли он это тело и филлоцианин, полученный по первому способу, за одно и то же тело. По мнению Фреми, хлорофилл не что иное, как сочетание филлоциановой кислоты с филлоксантином, на подобие глицеридов или сахаридов. Непонятно, почему он продолжает называть это тело циановым, когда оно буро-оливкового цвета.

Микели предпринял, под руководством Сакса, исследование, имевшее целью проверить теорию Фреми. Он отрицает

[1] Это показание Кромайера неверно с начала до конца. Все неточности мною подчеркнуты. Раствор не мог быть средний, иначе вещество получилось бы в осадке и притом не синего, а бурого цвета. Полученный при выпаривании осадок был, очевидно, недостаточно промыт, иначе он не был бы синий. Ясно, что Кромайер имел дело с телом, содержавшим большой избыток кислоты, и вообще слишком порадел, желая доказать то, чего и Фреми не утверждал, именно существование среднего синего тела.

распадение хлорофилла на два вещества при действии смеси эфира и соляной кислоты; [1] распространяется весьма подробно о давно известном факте изменения хлорофилла при действии небольших количеств кислот, считая его, повидимому, новостью; предполагает, что ксантофилл от кислот синеет, и потому очень удивляется, что ксантофилл, полученный по второму способу, не представляет этой реакции, и объясняет это присутствием барита. Для весьма простого факта осаждения хлорофилла баритом, Микели изобретает замысловатую и совершенно ненужную теорию, по которой барит должен действовать на подобие кислот (?), т. е. сначала заставляет хлорофилл буреть, затем превращает часть его в синее тело, которое и осаждает. Вообще вся работа Микели полна подобных диковинок и ничего не прибавила к имевшимся уже данным.

Последняя работа Фреми вызвала также новые исследования со стороны Фильоля. Фильоль снова с большею силою настаивал на том факте, что все способы, основанные на употреблении минеральных кислот, не дают ближайших составных начал хлорофилла, но лишь продукты распадения. Впрочем, Фильоль сам употреблял щавелевую кислоту, действие которой столь же энергично, и, следовательно, получал измененные тела. При действии этой кислоты хлорофилл буреет и распадается на черное тело, выделяющееся в виде клочковатого осадка, и желтое, остающееся в растворе. Этот желтый раствор, в свою очередь, при действии соляной кислоты распадается на другое желтое, нерастворимое, и синее, растворяющееся в соляной кислоте и принимающее желтый цвет при уравнении кислоты. Черное вещество, по мнению Фильоля, тождественно с хлорофиллом Моро; одна из любопытных его реакций — превращение его,

[1] Он говорит, что получал большое количество желтого тела и несколько капель бледного, неопределенно синеватого тела,— очевидно, потому, что не следовал указанию Фреми и не брал кислоту и эфир в указанном отношении.

при действии щелочного раствора окиси цинка, в яркозеленое тело.

Жоден и, в недавнее время, Мюллер исследовал отношение хлорофилла к газам. Жоден полагает, что при разложении хлорофилла на солнце поглощается кислород и выделяется углекислота, но так как процесс этот длился у Жодена около месяца, то весьма возможно, что, помимо превращения хлорофилла, одновременно происходили и другие побочные процессы. Мюллер наблюдал только поглощение кислорода, но не выделение углекислоты.

Обратимся теперь к другому ряду исследований хлорофилла, именно к исследованиям спектроскопическим.

Брюстер первый описал оптические свойства хлорофилла, его спектр и флуоресценцию, но в особенности подробно изучил их Стокс. Стокс описал в спектре хлорофилла пять абсорбционных полос, но описание его не вполне ясно, доказательством чему служит тот факт, что все переводчики и референты [1] его работы превратно его поняли. Именно под пятой линией они разумеют сплошное поглощение голубых, синих и т. д. лучей, между тем как из подлинника, кажется, можно понять, что Стокс имел в виду действительно абсорбционную линию, отделяющуюся от начала сплошного поглощения светлым промежутком. Если считать пять линий, то они будут следующие; одна в красной части спектра, одна в оранжевой, одна в желтой, на границе с зеленой, наконец, последняя около фрауенгоферовой линии F; за этой линией, после небольшого промежутка, начинается сплошное поглощение. В этой работе Стокс преимущественно обратил внимание на отношение между поглощением и флуоресценцией, но мы не остановимся на этих

[1] Annalen der Physik, Fortschritte d. Physik, Розанов и проч. Эта ошибка тем понятнее, что спектр нормального хлорофилла действительно содержит только четыре полосы.— Стокс вначале не делал различия между зеленым и побуревшим хлорофиллом, и это описание относится к последнему.

любопытных исследованиях, так как они выходят из рамки нашего вопроса.

Впоследствии Стокс неоднократно возвращался к исследованию хлорофилла, но, к сожалению, излагал свои исследования так кратко, как бы мимоходом, что трудно себе составить полное о них понятие. Тем не менее, мы приведем их подробнее, почти дословно, так как они представляют самые точные данные по этому вопросу. Стокс предпринял исследования ввиду высказанного предположения о тождестве хлорофилла с биливердином и показал, что это мнение неверно. Относительно хлорофилла пришел к заключению, что он состоит из четырех тел, двух зеленых и двух желтых. [1] Зеленые представляют сильную красную флуоресценцию, желтые не представляют ее; все четыре растворимы в тех же растворителях, а три из них легко разлагаются кислотами и даже кислыми щавелевыми солями, но при надлежащей обработке могут быть получены в приблизительно чистом виде. Филлоцианин Фреми не что иное, как продукт действия кислот на одно из зеленых тел, и в нейтральном растворе — неопределенного цвета, но с ясными абсорбционными линиями; растворяясь в кислотах, это тело принимает синий или зеленый цвет. Филлоксантин различается, смотря по способу приготовления: приготовленный чрез осаждение зеленых тел глиноземом, он представляет одно из желтых тел; приготовленный посредством смеси соляной кислоты и эфира, он состоит из этого желтого тела и продукта изменения второго зеленого тела. Наконец, филлоксантеин, вероятно, смесь второго желтого с продуктами разложения остальных трех тел.

Стокс настаивает на том, что филлоцианин Фреми вовсе не синий в нейтральных растворах, а также доказывает a priori, на основании флуоресценции, что в хлорофилле не может

---

[1] Спектр одного из последних, по Стоксу, состоит из двух полос в синей части.

заключаться синего тела. Ход его аргументации следующий: флуоресценция находится в связи с поглощением, т. е. она возможна только в тех частях спектра, где происходит поглощение; флуоресценция хлорофилла очень сильна в синей части спектра. Но желтое тело не флуоресцирует,— следовательно, флуоресценция в синей части спектра принадлежит другому телу; это тело для того, чтобы флуоресцировать в синей части спектра, должно поглощать лучи этой части спектра и, значит, не может быть синим.

Стокс не говорит, каким образом он получал свои зеленые тела; только в одном месте упоминает, что пользовался для разделения смесью сернистого углерода и алкоголя, но, как я убедился, этот способ не дает зеленого тела.

С точки зрения употребленных приемов достойны замечания исследования Ангстрёма и Гартинга. Ангстрём задался специальной целью сравнить хлорофилл высших и низших растений с хлорофиллом низших животных, и полагал, что нашел различия, но этот результат был опровергнут Гартингом. Ангстрём исследовал растворы хлорофилла при различной толщине слоя и, соединяя наблюдения в одно изображение, получал закон поглощения света этими растворами. Для этого он употреблял сосуд, состоявший из двух вставленных одна в другую медных трубок, закрытых с переднего конца зеркальными пластинками. По его описанию, спектр состоит из четырех полос, в красной, оранжевой, желтой (положение этой линии не совсем постоянно) и зеленой частях спектра; начиная с линии F, или немного ранее, наступает сплошное поглощение. Ангстрём производил наблюдение при свете лампы или свечи, определял положение линии D, а положение остальных вычислял, зная светорассеяние своей призмы.

Гартинг употребил другой прием: он заключал раствор в полую призму и мог таким образом пропускать луч чрез слой различной толщины. Прошедший чрез жидкость луч разлагался другой призмой. Так как исследования произво-

дились с солнечным светом, то положение абсорбционных линий определялось непосредственно фраунгоферовыми линиями. По его описанию, спектр хлорофилла также содержит четыре абсорбционные полосы; полоса на границе желтой и зеленой частей спектра не всегда одинаково ясна. Аскенази довольно подробно исследовал спектр хлорофилла, нормального и измененного солнечным светом, при различных концентрациях и вообще представил весьма обстоятельные и ясные описания оптических свойств хлорофилла; но употребленный им способ обозначения спектров неудачен и уступает в точности способам, употребленным Гартингом и Ангстрёмом. Аскенази исследовал также спектр филлоксантина и филлоцианина, но эти спектры оказались почти сходными.

Микели, по его словам, исследовал как хлорофилл, так и тела Фреми, но пришел к заключению, что все спектры между собою сходны и что вообще спектроскоп не может принести никакой пользы при этих исследованиях.[1]

Уже после окончания моей работы, до моего сведения дошли две заметки о хлорофилле: Шёна и Луневского. Шён также нашел, что оба тела Фреми, филлоксантин и филлоцианин, представляют одинаковые спектры. В исследовании Луневского любопытен тот факт, что в эмульсии свежего хлорофилла от прибавления щелочи получается спектр, отличающийся от спектра хлорофилла тем, что в нем, вместо одной главной типической линии в красной части спектра, появляются две. Спектры филлоцианина и филлоксантина также оказались сходными, даже спектр эфирного слоя, по Луневскому, более сходен со спектром хлорофилла, вследствие чего он полагает,

[1] К числу диковинок, которыми изобилует эта работа, можно прибавить еще следующую: говоря о спектре концентрированных растворов хлорофилла, он замечает:«Ce dernier (l'espace rouge) depasse notablement le champ visible du spectre solaire et *est du à la fluorescence*».[1]Известно, что это явление зависит от поглощения самой светлой части спектра, вследствие чего становятся видимыми крайние красные лучи.

что соляная кислота разлагает хлорофилл, а эфир удерживает неразложившуюся часть. Луневский говорит далее, что синий кислый раствор скоро разлагается и утрачивает абсорбционные полосы, но это несогласно с показаниями всех предшествовавших исследователей.

Из приведенного очерка можно усмотреть, что важнейшими сведениями о хлорофилле мы обязаны Берцелиусу, Фреми и Стоксу.



2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прибор и способ наблюдения.— Количественное определение.— Первый способ Фреми.—Филлоцианин и филлоксантеин.—Филлоксантин.— Сочетанный спектр филлоксантина и филлоксантеина.— Два способа осаждения филлоцианина.— Бесцветное тело, сопровождающее филлоцианин.— Несостоятельность элементарных анализов.—Ничтожные количества хлорофилла в растении.— Различие спектров нормального хлорофилла и хлорофилла, измененного кислотами.— Второй способ Фреми.— Оптически чистый филлоксантин.— Филлоциановая кислота.— Спектр ее.— Превращение ее спектра при действии щелочей.— Филлоцианин и филлоциановая кислота не одно и то же тело.— Разложение органическою кислотою.— Хлорофиллин.— Непостоянство его растворов.—Хлорофиллеин.— Предлагаемая номенклатура.— Другие способы разделения.— Сомнения насчет однородности состава филлоксантеина и хлорофиллеина.— Превращение филлоксантина в хлорофиллин. Происходит ли это превращение путем окисления? — Обратное превращение происходит ли путем восстановления? — Значение окислов железа и цинка.— Действие света на хлорофилл состоит в превращении хлорофиллина в филлоксантин.— Обратное превращение.— Дальнейшее действие света.— Отношение филлоксантина к окиси углерода.— Выводы.

Из предшествующего очерка ясно, что неудовлетворительность данных, приобретенных путем спектрального исследования, проистекает главным образом от неточности способов, употребленных для разделения тел, и от несовершенства обыкновенных способов наблюдения и обозначения спектров, вследствие чего тела, очевидно различные, оказывались сходными

в отношении спектров (Аскенази, Микели, Шён, Луневский), так что показания спектроскопа были менее надежными, чем указания невооруженного глаза.

Следовательно, требовалось позаботиться одновременно о получении по возможности чистых, по крайней мере оптически чистых, тел и об усовершенствовании способа наблюдения и регистрирования спектров.

Я буду излагать свои наблюдения в их хронологической последовательности, как самой естественной и логической, но прежде скажу несколько слов о принятом мною способе наблюдения и обозначения спектров.

Мы видели, что уже Ангстрём и Гартинг убедились в необходимости последовательного наблюдения спектров при изменяющейся концентрации раствора или толщины слоя. Оба способа одинаково верно ведут к цели, но второй из них удобнее на практике, так как он соединяет наибольшую точность с наименьшей тратой времени. После нескольких более или менее неудачных попыток я остановился на следующем небольшом приборе (рис. 1), вполне достигающем своей цели.

Две концентрические стеклянные трубки соединены между собою посредством оправы из обыкновенной пробки таким образом, что внутренняя может двигаться в наружной, как поршень или, скорее, как окуляр зрительной трубы. Передний конец наружной трубки отшлифован и закрыт пластинкой из зеркального стекла, которая удерживается в этом положении двумя гуттаперчевыми кольцами, протянутыми к металлической оправе заднего конца этой трубки. Передний конец внутренней трубки закрыт тщательно отшлифованной пробочкой, также из зеркального стекла, а самая трубка снабжена вытравленною в стекле миллиметрическою скалою, дозволяющей при вдвигании и выдвигании трубки измерять толщину слоя жидкости, находящейся между передними концами обеих трубок, т. е. между заднею поверхностью зеркальной пластинки и переднею поверхностью зеркальной пробки.

В верхней, передней части наружной трубки находится отверстие с каучуковою трубочкою, в которое вставляется малень-

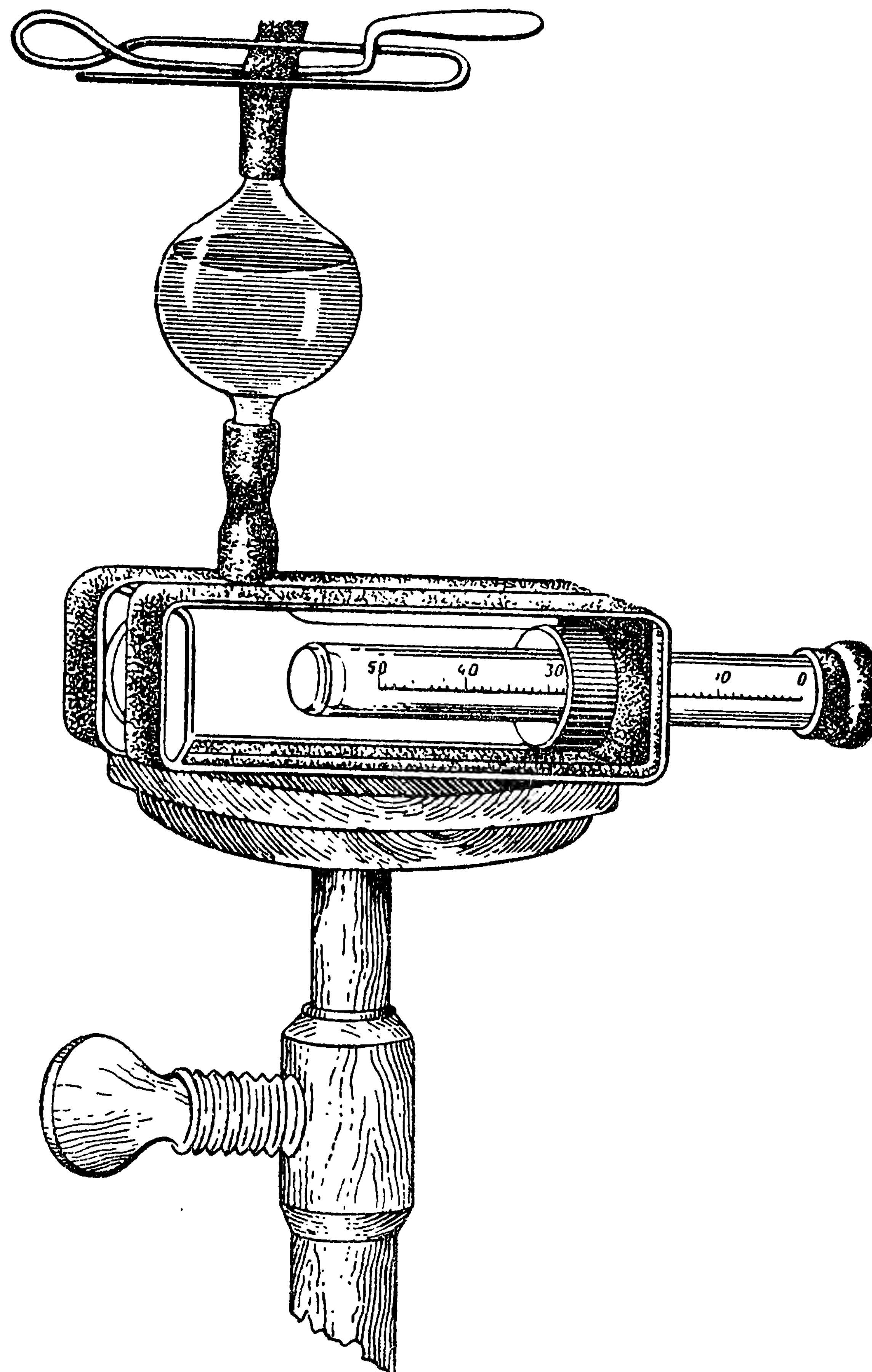


Рис. 1.

кая пипетка с испытуемою жидкостью. Прибор этот дозволяет работать с ничтожными количествами веществ (вместимость его 7 куб. см) и пригоден для всевозможных растворов, спир-

товых и водяных, щелочных и кислых, так как он состоит исключительно из стекла и пробки, без всякого цемента или клея. Наблюдение идет весьма быстро: определив сначала спектры, положим через каждые 10 миллиметров, можно заметить места, требующие более точного наблюдения (т. е. где линии сливаются между собою или выклиниваются), и там определить спектры чрез каждый миллиметр, имея притом возможность сколько угодно раз возвращаться к сделанному уже определению, чтобы проверить его. При таком способе наблюдения, спектральное исследование жидкостей достигает желаемой точности.[1]

---

[1] Для достижения полной точности в изображении спектров желательно было бы, кроме положения и ширины полос, обозначать их относительную черноту и ясность промежутков. Для этого я воспользовался фотометрическим приемом, описанным недавно Фирордтом (Pogg; Ann. 1869, 8). Прием этот заключается в следующем. Ослабляя напряжение источника света, освещающего микрометр спектроскопа достигают момента, когда он перестает быть видимым на поле спектра. Этот момент для различных частей спектра наступает ранее или позднее. Таким образом, напр. на резкой черной линии в красной части спектра, светлые линии микрометра перестают быть видимыми гораздо позже, чем на остальных. Для ослабления света Фирордт употреблял систему дымчатых стекол, но подобные стекла хорошего достоинства довольно редки и во всяком случае представляют то неудобство, что ослабляют свет скачками. Я пробовал заменить их раствором китайской туши с аравийской камедью. Подобный раствор, неоднократно профильтрованный, не образует более осадка и может вполне заменить дымчатые стекла, с тем преимуществом, что при употреблении его в приборе, сходном с описанным, можно увеличивать слой, а следовательно и ослаблять свет с желаемою постепенностью.

Понятно, что при этих и вообще при всех сравнительных наблюдениях источник света и ширина щели спектроскопа должны быть по возможности одинаковы. Считаю не лишним упомянуть здесь о приеме, который я употребляю для измерения ширины щели, так как мне не случалось встретить указаний на него. С этой целью щель из вертикального приводится в горизонтальное положение, а микрометр, наоборот, из горизонтального в вертикальное. Тогда в поле зрения получается увеличенное изображение щели, перекрещиваемое скалой микрометра.

Понятно, что и способ обозначения спектров отличается от обыкновенного бунзеновского, превосходного, пока дело касается спектров раскаленных газов, но неприменимого для обозначения поглощения света цветными средами, так как изображаемые величины, т. е. высота и чернота бугорков, совершенно произвольны (см. спектры хлорофилла у Аскенази и растворов солей дидима у Бунзена).

Полученные данные обозначаются следующим образом. Принимая деления микрометра за абсциссы, толщину слоя жидкости за ординаты, соединяя все наблюдения одною кривою и зачернив всю часть рисунка под кривой, — получим изображения, приведенные на таблице II и дающие точное понятие о поглощении света испытуемою жидкостью. [1] Для наглядности можно себе представить, что каждый подобный чертеж изображает в плане четвероугольный сосуд, в 5 центиметров шириною и 8 длиною, наполненный раствором испытуемой жидкости. На переднюю (в плане верхнюю) стенку этого сосуда отброшен спектр, светлые языки означают глубину, на которую лучи различной преломляемости проникают в жидкость.

Как видно, красные лучи пронизывают всю толщу этого слоя и, судя по наклону абсорбционной линии, вероятно, проникают далее еще на такое же расстояние.

Первый рисунок на таблице II изображает полученный подобным образом спектр спиртового раствора хлорофилла. Он состоит (согласно описанию вышеприведенных авторов) из четырех темных полос, за которыми, с линии *F* или b, смотря по концентрации, начинается сплошное поглощение голубых, синих и прочих лучей. Совершенно сходные спектры получены мною при исследовании различных растений: злаков, шпината, ежевики, плюща. Единственная, быть может, подверженная колебанию часть спектра — это третья черта (слева); она представляется с различною степенью ясности, но тем

[1] Подобный способ обозначения был, если не ошибаюсь, в первый раз употреблен И. Мюллером (Pogg. Ann. 1847).

не менее встречается во всех исследованных мною спектрах. Это различие, может быть, объясняется тем обстоятельством, что она вообще менее явственна, чем остальные. Свежие листья, в особенности такие, в которых воздушные полости инъектированы водой, вследствие чего они становятся прозрачнее, представляют спектры, соответствующие растворам слабой концентрации. Следовательно, не подлежит сомнению, что извлечение хлорофилла спиртом не подвергает его изменению, по крайней мере в оптическом отношении. Точно также не подвергает его изменению осаждение водным глиноземом и вторичное растворение в спирте,[1] т. е. прием, употребляемый Фреми для получения чистого хлорофилла.

При этом способе наблюдения обнаруживаются различия, ускользающие от точного определения при наблюдении спектров только средней концентрации или средней толщины слоя. Следующий пример лучше всего пояснит сказанное. Хлорофилл нормальный и хлорофилл, измененный действием солнечного света, ясно различаются по цвету: первый — зеленый, второй — бурый; но абсорбционные полосы одни и те же (спектр III т. I); все различие заключается в их ширине или большей или меньшей ясности светлых промежутков, что становится понятным из сравнения первого и второго рисунка второй таблицы.

Прежде чем перейти к исследованию ближайших составных начал и продуктов изменения хлорофилла, скажу несколько слов о возможности количественного определения этого вещества посредством спектрального анализа. Если определе-

---

[1] Вообще во всем следующем изложении под нормальным раствором хлорофилла разумеется спиртовая вытяжка, выпаренная, обработанная горячей водой для извлечения желтоватого или буроватого, растворимого в воде вещества, обыкновенно сопровождающего хлорофилл, и снова растворенная в спирте или эфире. Как сказано, лак, получаемый осаждением водным глиноземом, дает растворы нормального хлорофилла. Высушенный лак уже не уступает всего хлорофилла спирту и скоро буреет, изменетяся, даже в темноте.

ние абсолютных количеств станет возможным только тогда, когда хлорофилл будет получен в химически-чистом виде, когда будет известен его элементарный состав, то определение относительных количеств, весьма любопытное в физиологическом отношении, становится возможным уже в настоящее время. На возможность подобного количественного определения указал Аскенази (на основании количественных определений пигментов крови, сделанных Прейером), но это заключение было преждевременно, потому что на основании данных, которыми обладал Аскенази, строгое количественное определение было невозможно.

Возможность количественного определения основывается на следующем положении. *Равные объемы растворов, дающие при одинаковом напряжении света и одинаковой толщине слоя одинаковые спектры, содержат равные количества вещества.* Откуда, при прочих равных условиях, количества данного вещества, содержащиеся в растворе, прямо пропорциональны объему раствора и обратно пропорциональны толщине слоя. Измеряя то или другое, или то и другое вместе, получим меру для относительных количеств вещества.

Эти прочие равные условия будут: равное напряжение света и равенство спектров.

Первое условие будет выполнено при равной ширине щели и одинаковом напряжении источника света, второе вполне достигается непосредственным сличением спектров в том же спектроскопе. Но если измерение ширины щели достигается весьма просто, то получение источника света постоянного, определенного напряжения составляет задачу, еще не разрешенную физиками.

Впрочем при непосредственном сличении спектров не представляется необходимости в подобном источнике; для избежания его необходимо только иметь постоянный, *неизменяющийся* нормальный раствор, который будет служить единицей или эталоном. Если невозможно получить подобный *неизменяю-*

щийся, нормальный раствор, то и самый способ количественного определения становится невозможным. Это обстоятельство, т. е. невозможность получения источника света определенного напряжения, а за отсутствием его необходимость в нормальном растворе для сравнения, упущено из виду всеми исследователями, предлагавшими спектральный анализ для количественных определений.

Для хлорофилла возможность получения постоянного раствора представлялась в высшей степени невероятною, так как известна легкая изменяемость хлорофилла под влиянием света. Растворы хлорофилла, даже сохраняемые в темноте, утрачивают зеленый цвет, а с тем вместе изменяется и спектр. По счастью это непостоянство вполне устраняется сохранением растворов в отсутствие воздуха. Спиртовой раствор, запаянный в стеклянной трубке после продолжительного кипячения, сохраняется, не изменяясь, неопределенное время, *даже на солнце.* [1] Таким образом возможность количественного определения путем спектрального анализа не подлежит сомнению; остается только испытать его чувствительность и избрать наиболее удобный прием для измерения.

Первый испытанный мною способ отделения ближайших составных начал хлорофилла был первый способ Фреми, как простейший.

---

[1] Привожу самое убедительное из сделанных мною наблюдений. Спиртовой раствор хлорофилла, запаянный в стеклянной трубке в августе 1869 г. в Гейдельберге, сохранил, нисколько не изменяясь, свой зеленый цвет до июля месяца 1870 года. Во время необыкновенно знойных и ясных дней, стоявших в это время в Париже, трубка эта была неоднократно выставляема на несколько часов на солнце без всяких последствий. Затем кончик трубки был отломлен под ртутью, чтобы убедиться в отсутствии воздуха, и открытая трубка снова выставлена на солнце. По прошествии десяти минут раствор заметно побурел. В других трубках, не выдержавших этой пробы, оказался воздух. Любопытно, что эфирные растворы постояннее — даже в присутствии воздуха в запаянной трубке они долгое время сохраняют свой цвет на солнце.

Как было сказано выше, взбалтывая хлорофилл со смесью хлористо-водородной кислоты и эфира, удается разделить его на две составные части, располагающиеся в два слоя: верхний, эфирный, золотисто-желтый, и нижний — кислотный, сине-зеленый или почти синий. Первый содержит, по Фреми, раствор его филлоксантина, второй — филлоцианина. Спектры обоих растворов (при слабых и средних концентрациях) сходны между собою и с хлорофиллом, с тем существенным различием, что филлоцианин пропускает более синих лучей, чем хлорофилл. Насыщая кислый раствор щелочью или мрамором и взбалтывая с эфиром, можно получить средний эфирный раствор филлоцианина (филлоксантеин Фреми), который будет уже не синего, а бурого цвета. Это изменение цвета при насыщении всего лучше наблюдать при насыщении мрамором; тогда образуется три слоя: нижний — бесцветный слой хлористого кальция, средний — кислый раствор филлоцианина, и верхний — слой эфира. Пояс филлоцианина становится все ўже и ўже, причем принимает все более и более высокий синий цвет; наконец, наступает момент, когда вся кислота насытится и филлоцианин почти мгновенно растворяется в эфире, сообщая ему описанный бурый цвет.

Полученный таким образом средний эфирный или спиртовой раствор филлоцианина (филлоксантеин Фреми) отличается сильной красной флуоресценцией; спектр его (при средней концентрации) представляет все абсорбционные линии хлорофилла и еще одну в синей части (следовательно сходен со спектром V табл. I), которая в хлорофилле, вероятно, маскируется филлоксантином, Кроме того, все линии гораздо резче выделяются на более ясном поле. Таковы оптические свойства *филлоцианина*.

Обратимся теперь к яркожелтому эфирному раствору *филлоксантина*. Раствор этот представляет значительную флуоресценцию и спектр, сходный со спектром среднего раствора филлоцианина, за исключением обильного поглощения голу-

бых и синих лучей. Таким образом, или оба эти тела, на глаз совершенно различные, представляют одинаковые спектры и флуоресценцию, или одно из них содержит примесь другого.[1] Зная, с одной стороны, что филлоксантин нерастворим в соляной кислоте (что обнаруживается тем, что при растворении хлорофилла в соляной кислоте остаются нерастворимые желтые клочья), а с другой, что филлоцианин растворим в обеих жидкостях, можно было заключить, что филлоксантин содержит примесь филлоцианина, а не наоборот. Это предположение вполне оправдалось. Взбалтывая желтый, эфирный раствор филлоксантина с новым количеством хлористо-водородной кислоты, можно было приметить окрашивание ее в зелено-голубой цвет: одновременно с тем в спектре филлоксантина замечалось постепенное исчезание абсорбционных линий, вместе с чем утрачивалась способность флуоресцировать. Наблюдение это производилось со всею желаемою точностью перед спектроскопом. Для этого я брал трубку с краном; спуская постоянно слой кислоты и добавляя испарявшийся или растворявшийся в кислоте эфир так, чтобы сохранять неизменным объем, а следовательно, и концентрацию филлоксантина, можно убедиться, что при повторной обработке соляной кислотою желтое вещество, нисколько не изменяясь, уступает кислоте филлоцианин.

Но так как филлоцианин растворим в обеих жидкостях, то здесь происходит явление разделения тела между двумя растворителями, явление, превосходно изученное недавно Бертло, и потому понятно, что этим способом невозможно извлечь весь филлоцианин; и действительно, самый чистый филлоксантин, приготовленный таким способом, представляет следы линии в красной части спектра и слабую флуоресценцию.

Для того, чтобы убедиться, что эти следы абсорбционной линии могли зависеть от примеси, я приготовил раствор *филлоксантеина* соответствующей концентрации, т. е. с абсорб-

[1] Достойно удивления, как мало внимания обратили на это обстоятельство Аскенази, Микели, Шён: Луневский и пр.

ционной линией соответствующей ширины; оказалось, что этот раствор был до того бесцветен, что, только поставив его рядом с водою, можно было заметить, что он окрашен; несмотря на то, он заметно флуоресцировал. Таким образом, раствор *филлоксантеина,* настолько слабый, что он не способен изменить оттенок другого цветного раствора, способен сообщить ему заметную черту в спектре и флуоресценцию.

Этих фактов уже было достаточно, чтобы заключить, что *оптически-чистый*[1] *филлоксантин не представляет ни линии поглощения, ни флуоресценции.* Чистый филлоксантин также *не представляет синего окрашивания с кислотами,* как полагают Фреми, Фильоль и пр., — эта реакция только служит признаком присутствия *филлоксантеина.*

Таким образом, спектр хлорофилла (или вернее, хлорофилла, измененного кислотой) будет сложный, происшедший чрез наложение спектра филлоксантина на спектр филлоксантеина (см. спектры III, IV и V, табл. I).

Итак хлорофилл, при обработке его кислотой и эфиром, распадается на два оптически различные тела. Но заключать из этого, что это *действительные* и *единственные* ближайшие составные начала хлорофилла, как сделал Фреми, было бы преждевременно. Мнение Фреми, что кислый раствор филлоцианина и эфирный раствор филлоксантина, смешанные, при прибавлении спирта снова образуют хлорофилл, — неверно; во-первых, цвет вовсе не прежний изумрудно-зеленый, а синевато-зеленый, и раствор необходимо должен содержать большой избыток кислоты, при уравнении которой принимает бурый цвет, т. е. тот, который он получает от первых капель кислоты. Этого соображения достаточно, чтобы убедить, что тела, которые Фреми называет филлоцианином и филлоксантеином, не *действительные,* ближайшие составные

[1] Я буду употреблять это выражение, не считая себя вправе употреблять выражение: химически-чистый.

части хлорофилла, а продукты изменения, вызванные действием кислоты.

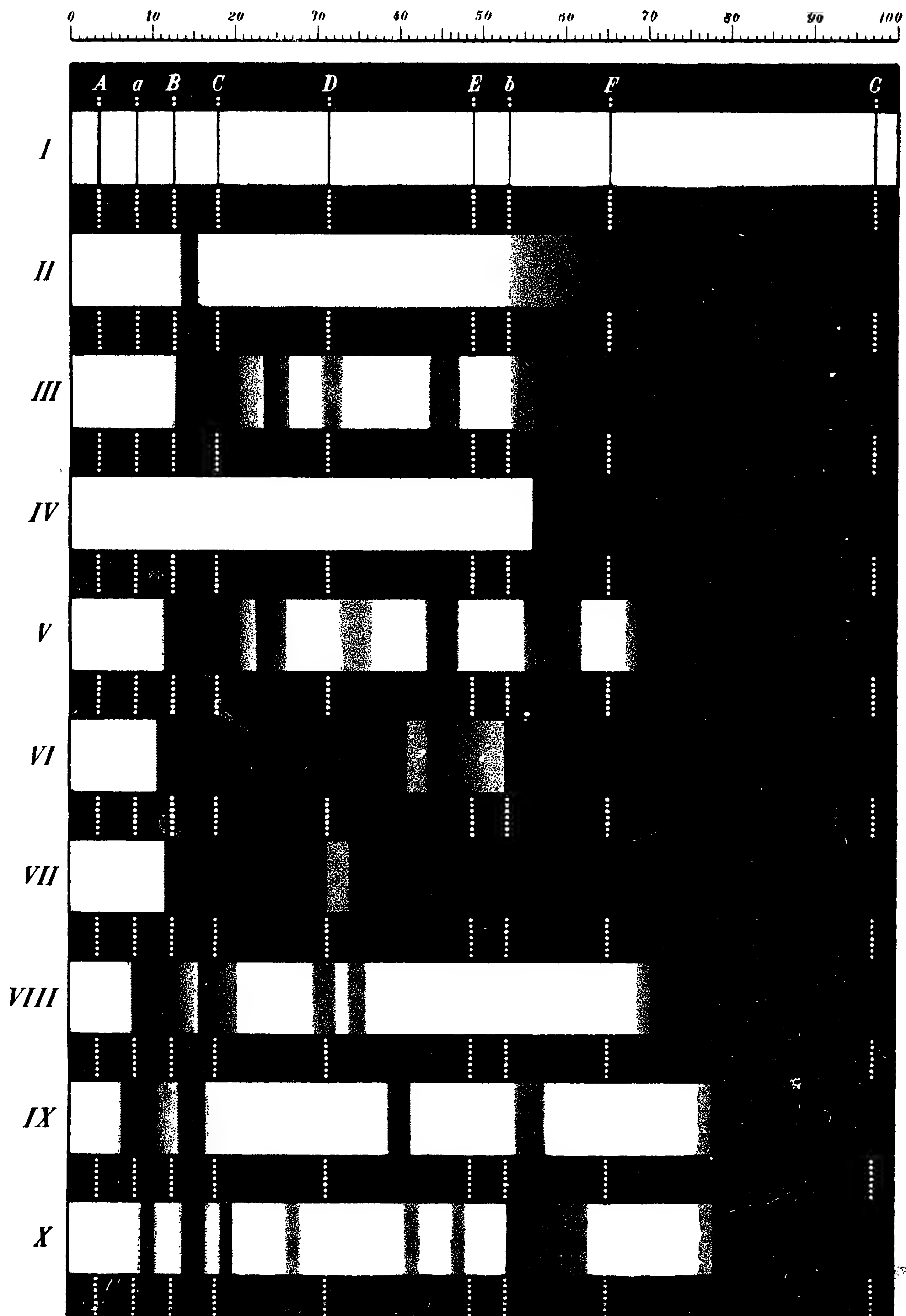
Что означенные два тела не *единственные* составные начала хлорофилла, ясно из следующего опыта. Известно, что кислые, синие растворы хлорофилла могут быть осаждены или уравнением кислоты, как выше описано, или разбавлением ее водою. Неоднократно было указано на то, что осадок в том и другом случае различен: в первом он клочковатый, оседающий на дно, во втором — мелкий, легкий, взвешенный в жидкости.[1] Я сделал опыт, чтобы убедиться, действительно ли осадок в том и другом случае будет одинакового состава, но различной консистенции. Осадив концентрированный раствор водою, я затем уравнил профильтрованный, почти бесцветный раствор и получил обильный клочковатый, почти бесцветный осадок; повторным осаждением получился совершенно бесцветный осадок.

Не имея этого тела в достаточном количестве, я не могу еще притти ни к каким заключениям о его природе. Замечательна его легкая растворимость в кислотах и щелочах; ничтожного избытка щелочи при уравнении кислого раствора достаточно, чтобы снова растворить образовавшийся осадок. Он растворим и в спирте, но при неизвестных мне условиях, и со временем теряет способность растворяться в спирте и кислотах. Этим, вероятно, объясняется факт, описанный, как мы видели выше, Берцелиусом и Моро, что хлорофилл, осажденный из спиртового или кислого раствора, становится отчасти нерастворимым в этих жидкостях.

Филлоксантеин, полученный тем или другим путем, т. е. уравнением или осаждением водой, представляет те же оптические свойства.

[1] Осадок в первом случае бурого цвета; во втором — зеленовато-синего, потому что осаждается из кислой жидкости; тщательно промытый водой, вопреки показаниям некоторых исследователей, он также бурого цвета.

Таблица 1


0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
A
a
B
C
D
E
b
F
G
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X

Как бы то ни было, из приведенного факта можно вывести два важных заключения. Во-первых, им доказывается окончательная бесполезность произведенных до сих пор элементарных анализов; исследователи, получавшие свой *чистый хлорофилл* уравнением или осаждением водою, анализировали совершенно различные тела. Этим, быть может, объясняются противоречия относительно содержания азота. Мульдер и Моро, осаждавшие мрамором, нашли азот. Пфаундлер, осаждавший горячей водой, не нашел его. Быть может, найденный азот принадлежит не пигменту, а описанному бесцветному телу. Второе заключение, которое можно вывести из этих фактов, то, что содержание в растении собственно хлорофилла, т. е. пигмента, столь ничтожное по оценке некоторых исследователей,[1] должно быть в сущности еще менее, так как бо̀льшая часть вещества, принимавшегося за хлорофилл, состояла из описанного бесцветного вещества.

Итак, мы видим, что тела Фреми не единственные составные части хлорофилла и что филлоцианин не действительное ближайшее начало хлорофилла, присутствующее в нормальном растворе или в самих растительных органах.

Это тело бурого цвета, — то же тело, которое находится в растении, должно быть зеленое в средних растворах, т. е. должно так же относиться к нормальному хлорофиллу, как филлоксантеин относится к хлорофиллу, измененному кислотой.

Но выражения бурый, зеленый, которыми мы до сих пор характеризовали эти два видоизменения хлорофилла, весьма неопределенны. Кроме того, мы видим, что и самые спектры сходны; бо̀льшая или меньшая чернота линий, бо̀льшая или меньшая ясность промежутков не могут служить для точной оптической характеристики тела.

---

[1] По Берцелиусу, все содержание хлорофилла в целом дереве не превышает нескольких граммов; по Моро, и это количество преувеличено.

Простейшего размышления, однако, достаточно, чтобы убедить, что тела, представляющие резкое различие в цвете для невооруженного глаза, должны представить не менее резкие различия при исследовании их спектров, лишь бы их сравнивали при концентрации или толщине слоя, при которых различие наиболее очевидно.[1] И действительно, сравнивая очень концентрированные растворы хлорофилла, нормального и измененного кислотами, можно убедиться, что спектры их совершенно различны: первый представляет светлую красную полосу и две зеленые, отделенные узким промежутком; второй — более широкую, красную, и узкую, но очень явственную, желтую, несколько правее линии D (см. спектры VI и VII табл. I). Но еще нагляднее различие это обнаруживается исследованием этих тел при различной толщине слоя. Рис. 1 и 2 табл. II представляют поглощение света растворами нормального хлорофилла и хлорофилла, измененного действием кислот.

Определив подобным же образом поглощение света филлоксантином и филлоксантеином, получим изображения рис. 3 и 5 табл. II, наглядно показывающие, что от смешения этих двух тел может произойти тело, изображенное на рис. 2, но ни в каком случае не нормальный хлорофилл, изображенный на рис. 1.

Искомая, неизменная составная часть хлорофилла должна иметь спектр, который относился бы к спектру нормального хлорофилла, как спектр филлоксантеина относится к спектру измененного хлорофилла.

Вот те главные результаты, к которым приводит исследование хлорофилла по первому способу Фреми. Он, очевидно, не дает ближайших составных начал хлорофилла, а продукты изменения; кроме того, этим путем нельзя получить чистого филлоксантина.

[1] Напр., очень слабые растворы того и другого будут почти одинакового желтоватого цвета.

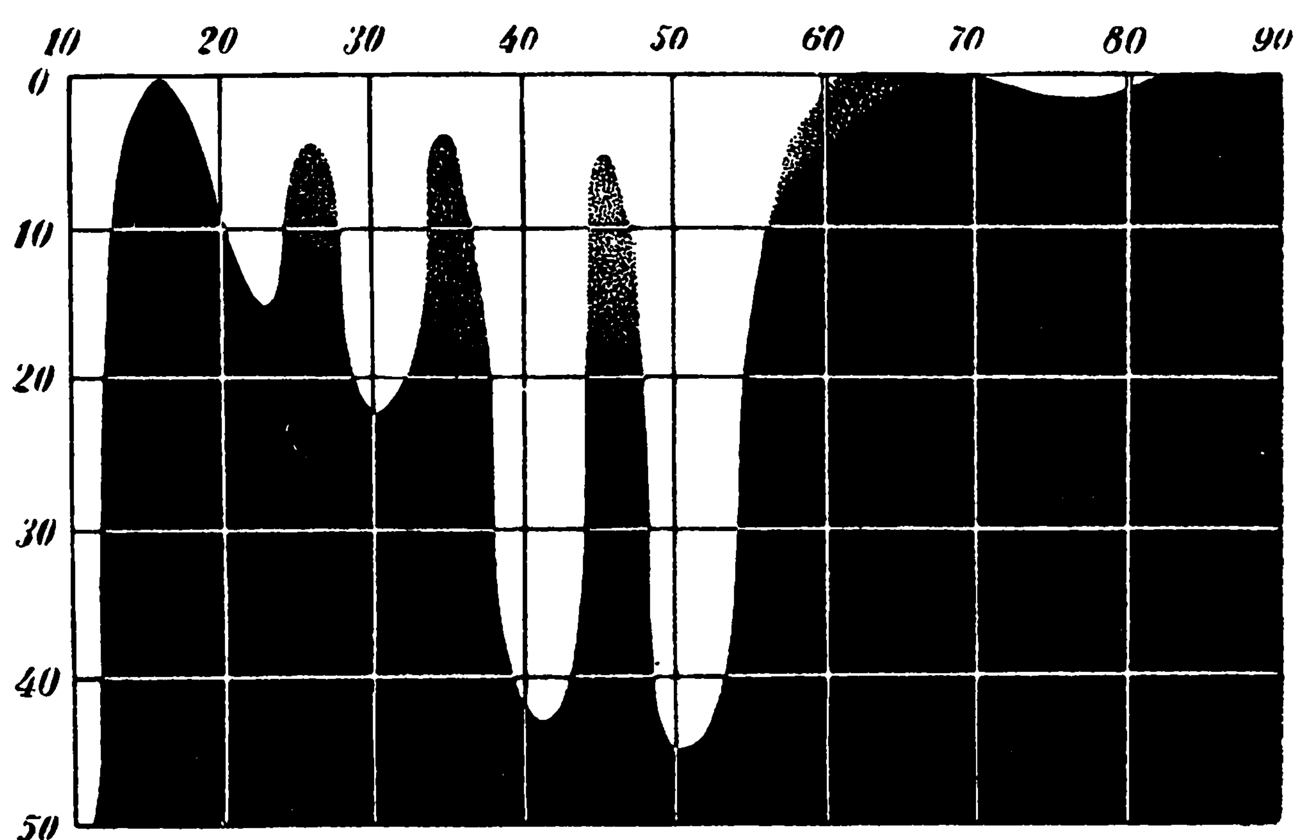


Рис. 1. Хлорофилл (нормальный).

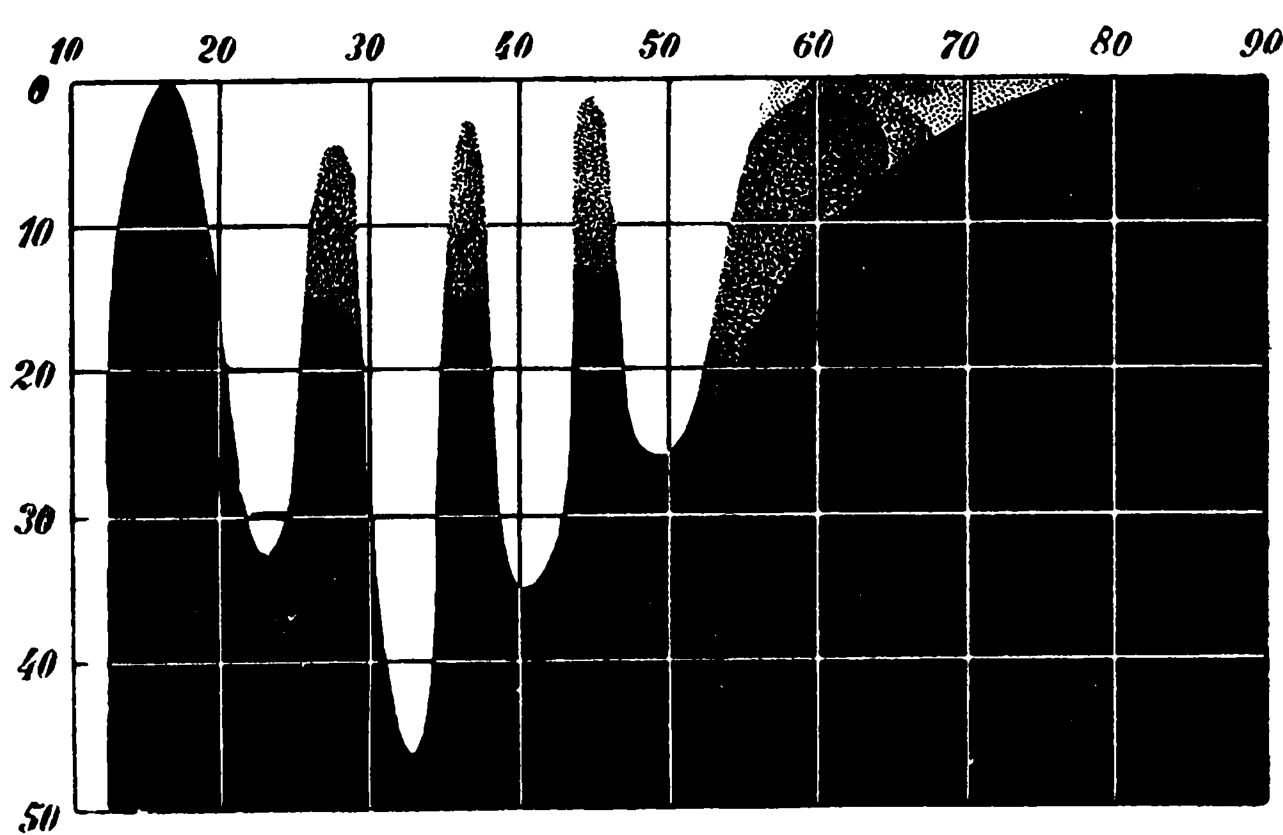


Рис. 2. Хлорофилл (инсолированный).

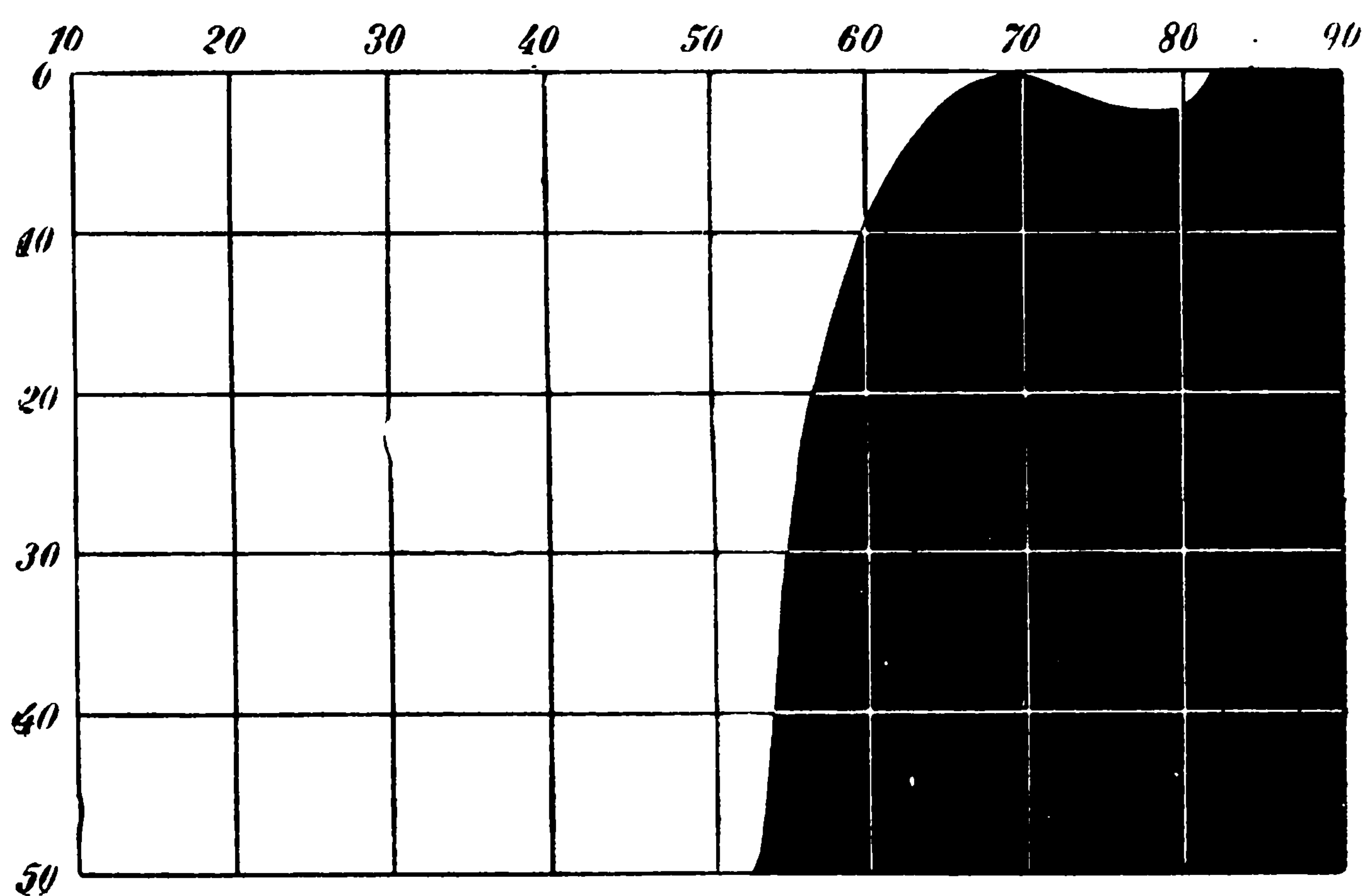


Рис. 3. Ксантофилл.

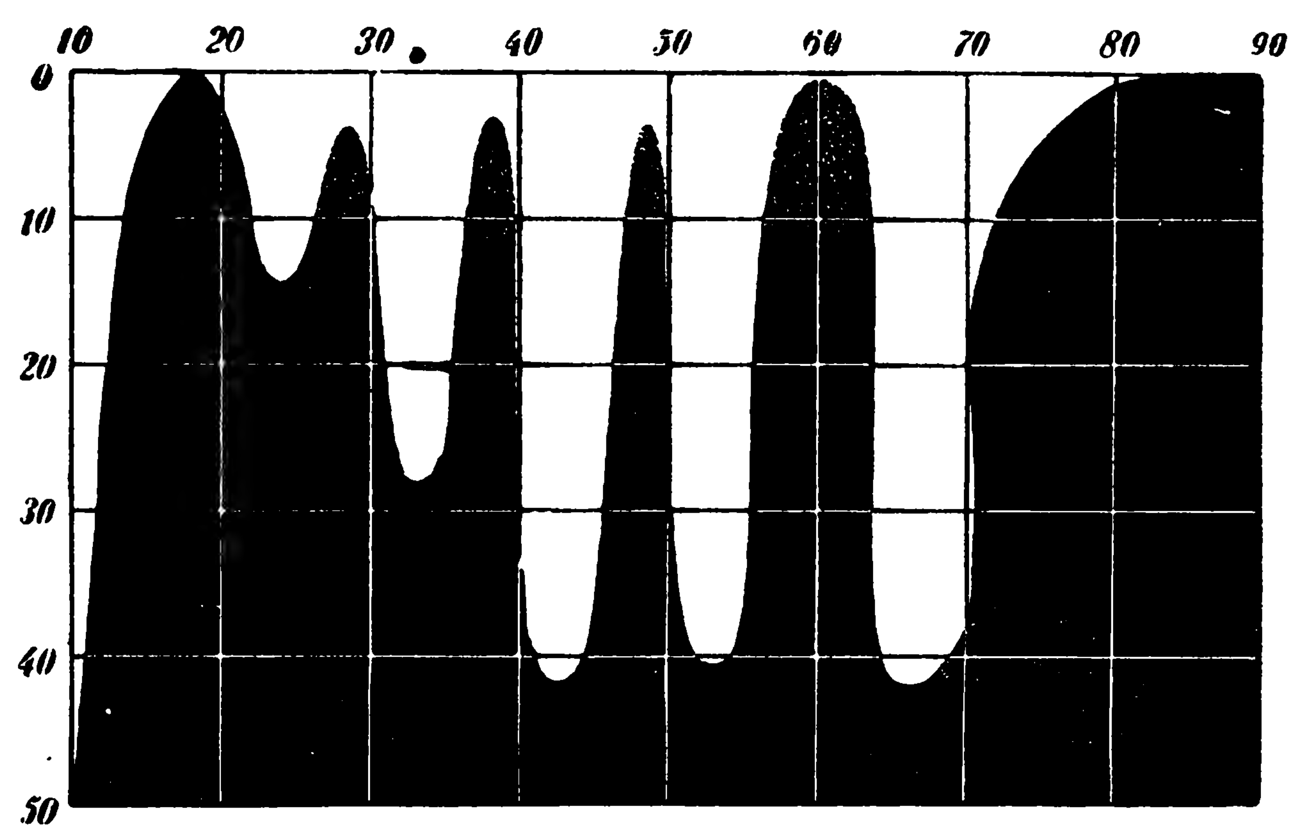


Рис. 4. Хлорофиллин.

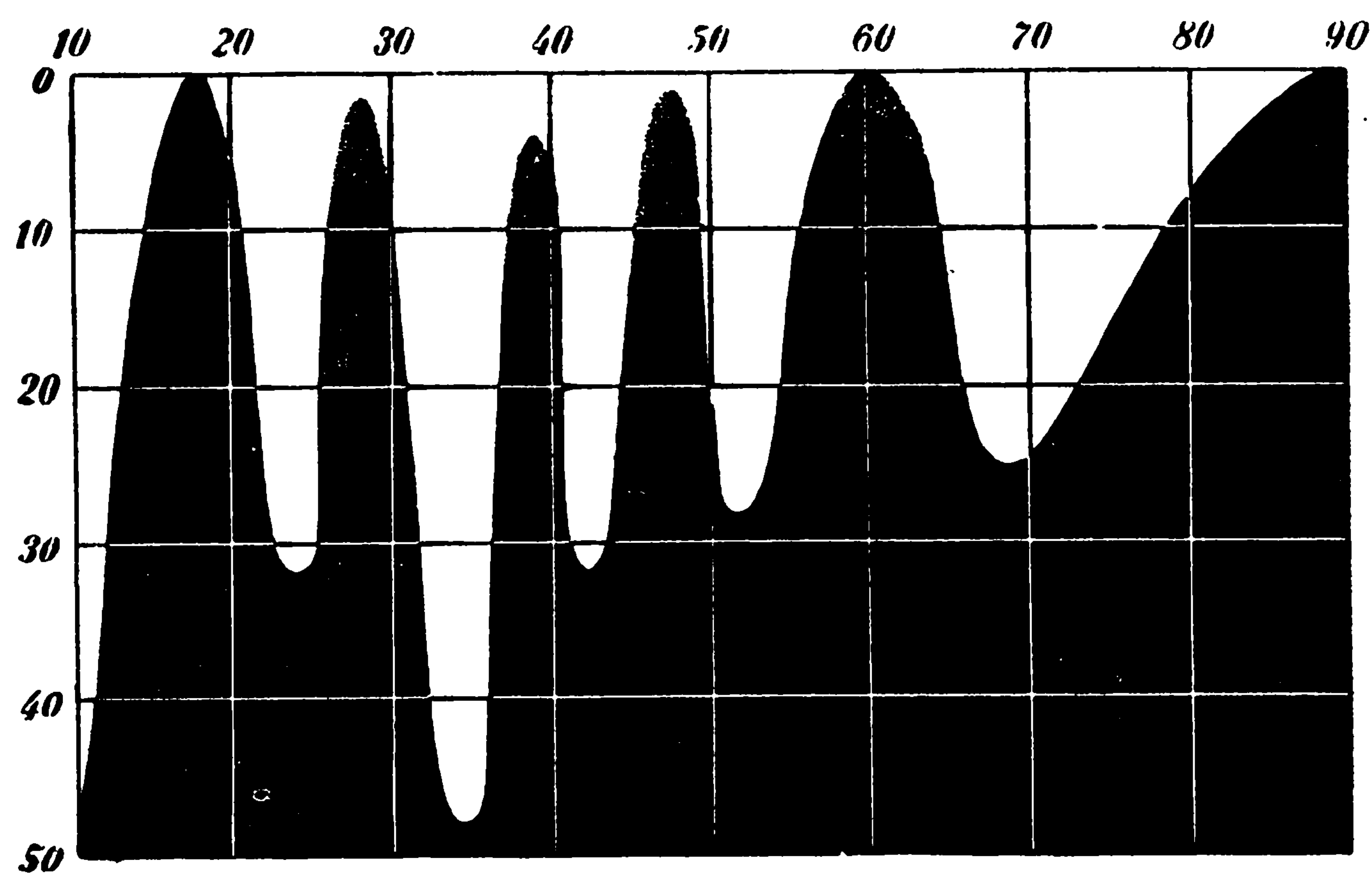


Рис. 5. Филлоксантин.

Второй способ Фреми, как известно, заключается в осаждении спиртового раствора хлорофилла баритом, причем получается превосходный зеленый осадок, уступающий при обработке алкоголем *филлоксантин*, но удерживающий другое, зеленое начало. Трех-четырех обработок алкоголем достаточно, чтобы извлечь весь филлоксантин, причем нерастворимый осадок получает более изумрудный оттенок вследствие удаления желтого начала. Уже при осаждении заметно, что осадок не однообразный, а состоит из двух: более тяжелого, порошковатого, зеленого, и клочковатого, желтого; первоначально осаждается первый, а затем и второй, повидимому, вследствие разбавления алкоголя баритовой водою.

Желтый раствор, если хлорофилл был вполне осажден, представляет чистый филлоксантин, без следов абсорбционных линий или флуоресценции. В противном же случае, он может быть получен в чистом виде повторным осаждением и растворением. Таким образом получаются значительные количества этого вещества. Спектр его изображен на табл. II рис. 4, закон поглощения света — на табл. II рис. 3. Характеристична выемка между 70 и 80 делениями микрометра, которая видна и на спектре хлорофилла (рис. 1 табл. I).

Баритовый осадок промывается алкоголем, пока алкоголь окрашивается, и затем разлагается серной кислотой. Полученный синий раствор осаждается водой, но не вполне — водяной раствор сохраняет высокий синий цвет с красной флуоресценцией. [1] Осадок промывают водой и растворяют в алкоголе.

Судя по первому способу разложения хлорофилла, можно бы ожидать, что здесь происходит подобное же распадение, что спиртовой раствор содержит филлоксантеин, но уже самый цвет раствора указывает, что полученное тело отличается

[1] Аскенази и Микели отрицают существование *синих* растворов — описываемый раствор лазурно-синего цвета, без малейшего зеленого оттенка. Этот раствор, при синем цвете, обладает превосходною красною флуоресценциею.

от него. Вместо золотисто-бурого цвет его каштаново-бурый. Это тело названо Фреми *филлоциановой* кислотой, но он нигде не говорит, считает ли его тождественным с *филлоцианином*, полученным по первому способу.

Спектр его резко отличается от спектра хлорофилла или филлоксантеина (см. спектр IX, табл. I). Вместо одной линии в красной части спектра являются две, лежащие одна правее, другая левее линии хлорофилла; линии в оранжевой части недостает, линия при D очень слабо выражена (при толщине слоя, изображенной на спектре IX, ее еще не видно), линия между D и E гораздо чернее и шире, чем в хлорофилле, наконец, абсорбционная линия при F очень слабо выражена. Следовательно, это тело, по спектру совершенно отличное от филлоксантеина.

Но этот спектр легко превратить в спектр филлоксантеина, стоит прилить несколько капель щелочи. Изменение особенно быстро происходит при взбалтывании жидкости, причем, быть может, происходит поглощение кислорода.

Превращение спектров можно наблюдать перед самым спектроскопом. Явление это весьма любопытно; оно происходит следующим образом: к существующим уже линиям (спектр IX) присоединяются новые (напр., в красной части спектра появляются три: две уже существовавшие начинают раздвигаться и в промежутке появляется третья, см. спектр X); старые стушевываются, как бы тают, новые растут, и, наконец, получается спектр V. Всего долее сохраняются следы первой линии в красной части; следы ее мне случалось видеть и в филлоксантеине, полученном по первому способу.

Итак филлоксантеин и филлоциановая кислота различаются между собою, но могут взаимно превращаться, или, вернее, филлоциановая кислота Фреми способна, при действии щелочей, превращаться в тело, оптически сходное с филлоксантеином. По мнению Фреми, хлорофилл — сочетание филлоциановой кислоты с филлоксантином. Приведенные факты, повидимому, благоприятствуют предположению, что это тело — кислота, но

противоречат предположению, что эта кислота образует сочетание с филлоксантином. В самом деле, предположим, что это кислота; тогда спектр с двумя чертами будет спектр свободной кислоты, а спектр филлоксантеина, получающийся при действии щелочи, будет спектр ее соединений, солей и проч.

Как бы то ни было, второй способ Фреми еще менее первого дает возможность получить ближайшие составные части хлорофилла в неизмененном виде, т. е. со всеми физическими свойствами, с которыми они встречаются в хлорофилле.

Первая, очевидная причина изменения заключается, как и в первом способе, в употреблении энергических минеральных кислот. Из опытов Берцелиуса и Фильоля оказывается, что некоторые органические кислоты, напр. уксусная, не действуют так, как минеральные кислоты или щавелевая, или, выражаясь точнее, действуют менее энергично, так что нужен известный избыток, чтобы вызвать это явление.

Ясно, что для разложения баритового осадка следовало употребить органическую, уксусную или винную кислоту. Для этого я поступал следующим образом: баритовый осадок разлагал раствором гидрата кали; получился превосходный изумрудно-зеленый раствор, с красной флуоресценцией и спектром нормального хлорофилла с пятой линией в синем.[1] Полученный раствор я сливал в стеклянный цилиндр с пробкой и наливал сверху слой эфира.

Несмотря на взбалтывание, эфир нисколько не окрашивался, пока жидкость сохраняла щелочную реакцию. Затем, приливая каплю за каплей кислоту, я уравнивал щелочь. С последней каплей кислоты, насыщающей основание, все красящее вещество переходит в эфирный слой, а нижний слой обесцвечивается. Таким образом избегается вредный избыток кислоты. Растворимость зеленого тела в щелочи весьма значительна —

[1] Растворение в едком кали нужно потому, что разложение осадка кислотой не идет успешно ни в воде, ни в алкоголе, так как филлоциановая кислота нерастворима в воде, а баритовая соль — а алкоголе.

одной капли достаточно, чтобы снова перенести его в нижний, водяной слой. Таким образом капли кислоты или основания достаточно, чтобы переводить все вещество из одного растворителя в другой.

При насыщении щелочи, обыкновенно всплывает в верхней части водянистого слоя бесцветное вещество в виде пленок, остающихся на границе водяного и эфирного слоев. Быть может, это то же вещество, которое было описано выше.

Полученный *средний* эфирный раствор превосходного изумрудного цвета, более высокого, чем цвет хлорофилла, так как из последнего выделено яркожелтое тело — филлоксантин. Раствор этот обладает флуоресценцией в высшей степени, чем сам хлорофилл, что также объясняется отсутствием филлоксантина, который, не флуоресцируя сам, должен ослаблять флуоресценцию. Наконец, спектр его — спектр хлорофилла, с тем только различием, что он представляет еще пятую абсорбционную черту в синей части спектра, [1] которая в хлорофилле маскируется филлоксантином. Подробное исследование спектра, при различной толщине слоя, обнаружило полнейшее сходство, так что оба изображения (т. е. описываемого тела и филлоксантина, рис. 3 и 4), наложенные одно на другое, дают спектр хлорофилла.

Итак, полученное тело, без сомнения, та искомая составная часть, которой хлорофилл обязан своими характеристическими оптическими свойствами, и получена она в неизмененном виде. Я предлагаю назвать это тело *хлорофиллином*.

Следовательно, хлорофиллин относится к хлорофиллу так же, как филлоксантеин к хлорофиллу, измененному кислотами. Почти излишне говорить, что хлорофиллин при действии кислот превращается в филлоксантеин, т. е. от нескольких капель теряет зеленый цвет, от избытка кислот принимает сине-зеленый, который при уравнении переходит в бурый, свойствен-

[1] При очень сильном освещении замечается еще minimum черноты между 80 и 90 делениями хлорофилла.

ный филлоксантеину. Таким образом действием кислот утрачивается зеленый цвет хлорофиллина.

Но полученные описанным образом растворы хлорофиллина, эфирные или спиртовые, весьма непостоянны. По прошествии нескольких часов или суток спектр, а вслед за тем и цвет их, начинает изменяться. Они уже не представляют прежнего яркого зеленого, а в толстом слое яркого красного цвета и роскошной флуоресценции. [1] Конечным продуктом является тело, стоящее по своему спектру в таком же отношении к хлорофиллину, в каком филлоциановая кислота находится к филлоксантеину, т. е. характеризующееся главным образом двойной линией в красной части спектра (см. спектр VIII, табл. I). Сходство это увеличивается еще тем, что нескольких капель щелочи достаточно, чтобы превратить его спектр обратно в спектр хлорофиллина, точно так же как спектр филлоциановой кислоты превращается в спектр филлоксантеина. Я буду называть его в дальнейшем изложении *хлорофиллеином,* хотя, как будет сказано ниже, насчет этого тела, как и насчет филлоциановой кислоты, имею некоторые сомнения; весьма возможно, что и то и другое окажется смесью двух тел. [2]

---

[1] В присутствии ничтожного количества щелочи растворы эти сохраняются долее. По всей вероятности, изменение вызывается атмосферной углекислотой.

Подобное же явление замечается относительно гемоглобина, который в присутствии щелочи сохраняется долее, но все-таки переходит в *метгемоглобин*, по Гоппе-Зейлеру, или смесь гемоглобина и гематина, по Кюну.

[2] Нормальный хлорофилл Берцелиуса, без всякого сомнения, состоял из *хлорофиллеина* или смеси хлорофиллина и хлорофиллеина. Это можно заключить из способа получения, а также из выражения: «Diese Lösung zeigt sich beim Durchsehen im Feuerschein *nicht rot*»[2] (Pogg. Ann. 1838, 300 стр.). Растворы хлорофиллеина действительно не представляют в толстом слое того превосходного красного цвета, который свойствен хлорофиллу и хлорофиллину. По этому признаку и по уменьшению флуоресценции можно безошибочно, не прибегая к спектроскопу, заметить начало разложения хлорофиллина. Явление это понятно, потому что хлорофиллеин, а особенно

Для выражения аналогии между описанными четырьмя телами я предложил бы переименовать *филлоксантеин* Фреми в *филлоксантин* (оставив за филлоксантином прежнее название Берцелиуса — *ксантофилл*), а *филлоциановую* кислоту, ввиду того, что это название совершенно неправильно, так как тело это не синее, — назвать *филлоксантеином*. Тогда все описанные тела можно выразить в следующей схеме.

ХЛОРОФИЛЛ

Хлорофиллин превращается **в филлоксантин.**	**Ксантофилл.**
разлагаясь, образует	разлагаясь, образует
|	|
Хлорофиллеин » » »	**Филлоксантеин.**

В дальнейшем изложении я так и буду называть эти тела.

Тела, стоящие в одном вертикальном ряду, — сходного цвета, зеленые или бурые. Тела, стоящие в одном горизонтальном ряду, имеют аналогичные спектры. [1]

Все до сих пор описанные различными исследователями продукты распадения хлорофилла сводятся или на эти пять тел, или на их смеси между собою и с описанным выше бесцветным веществом. Таким образом становится возможным провести синонимику в этом хаосе зеленых, желтых, бурых, синих, черных и проч. тел, которыми изобилуют все работы по хлорофиллу (см. в особенности работы Берцелиуса, Моро и Фильоля).

Будут ли хлорофиллин и хлорофиллеин те два зеленые тела, о которых упоминает Стокс, нельзя решить, по скудности сообщаемых им данных.

смесь его с хлорофиллином, поглощает почти все красные лучи, пропуская только самые крайние, тусклые лучи около линии A.

[1] Нельзя не заметить аналогии между этими четырьмя телами и телами, получающимися из пигментов крови:

Оксигемоглобин — Гемоглобин.
Гематин — Гемохромоген.

Полагая, что легкая изменяемость хлорофиллина обусловливается действием хотя и слабых кислот, я старался заменить их еще слабейшими или придумать способ отделения хлорофиллина от ксантофилла, вовсе не прибегая к кислотам.

Раствор в едком кали я с этой целью разлагал, пропуская струю углекислоты.[1] Углекислые щелочи растворяют хлорофиллин, но в меньшей степени, чем гидрат, почему этим путем можно, взбалтывая с эфиром, получить только часть зеленого тела, состоящую, как оказалось, из смеси хлорофиллина и хлорофиллеина.

Затем я пробовал разлагать баритовый осадок сернокислым натром. При нагревании с раствором этой соли часть осадка становилась растворимой в алкоголе и в воде и состояла из смеси обоих зеленых тел.

Убедившись, что всеми этими путями получается или хлорофиллин, весьма непостоянный, или прямо смесь хлорофиллина и хлорофиллеина и полагая, что это изменение вызывается осаждением баритом, я стал приискивать способ разделения хлорофиллина и ксантофилла без осаждения баритом.

Всевозможные сочетания растворителей, мною испробованные, оказались безуспешными.[2] Дробное осаждение водным глиноземом также не дало удовлетворительных результатов. Тогда я снова начал пробовать действие щелочей. В спиртовом растворе хлорофилла растворяется немного едкого кали, отчего хлорофилл нисколько не изменяется. Затем раствор выпаривается досуха; остаток растворяется в смеси воды и

---

[1] Баритовый осадок отчасти разлагается углекислотой, но реакция не идет удобно ни в воде, ни в спирте, почему нужно переменять эти жидкости, чтобы растворять зеленое тело, которое и оказывается смесью хлорофиллина и хлорофиллеина.

[2] Стокс говорит, что ему удалось разложить хлорофилл смесью сернистого углерода и алкоголя, но по моим наблюдениям сернистый углерод действует наподобие кислот, т. е. получается не хлорофиллин, а филлоксантин.

эфира, взбалтывается и оставляется на несколько часов отстояться. По прошествии этого времени слои отделяются начисто: верхний, эфирный, золотисто-желтый, содержит ксантофилл; нижний, щелочный, зеленый или, при значительной концентрации, красный, содержит хлорофиллин. В верхней части зеленого слоя всплывает какое-то более густое вещество, образующее темный непрозрачный пояс между двумя жидкостями.[1] Эфирный слой декантируется, наливается новое количество эфира, снова взбалтывается и оставляется на несколько часов; эта операция повторяется до тех пор, пока эфир перестанет окрашиваться. Тогда с зеленым щелочным раствором, для получения из него хлорофиллина, поступают следующим образом. К нему приливают концентрированного раствора хлористого аммония и слегка нагревают. В уравненной таким образом жидкости осаждаются зеленые хлопья; их собирают на фильтре и промывают сначала концентрированным раствором хлористого аммония, потому что оставшихся следов аммиака было бы достаточно, чтобы снова растворить их, а затем — водою. Промытый осадок растворяется в спирте или эфире. Но и этот раствор редко содержит чистый хлорофиллин, а в большей части случаев — смесь его с хлорофиллеином; до сих пор мне не удалось уловить условия образования этого последнего.

Наконец, последний испробованный мною способ получения хлорофиллина, без содействия кислот, основывался на любопытном свойстве его выделяться из насыщенного раствора едкого кали. Для получения его этим путем на промытый эфиром щелочной раствор наливается слой эфира и прибавляется едкого кали в кусках. По мере насыщения раствора зеленое тело переходит в эфир, и полученный раствор представляет все свойства хлорофиллина, *за исключением флуоресценции*. Раствор, совершенно прозрачный при проходящем

[1] Может быть, это то самое бесцветное вещество, которое неоднократно упоминалось выше.

свете, при падающем представляется мутным. Кроме того, этот эфирный раствор осаждается алкоголем и водою.

Итак, ни один из описанных способов не дает *постоянного* хлорофиллина, хотя вещество это, при первоначальном получении, представляет все физические свойства хлорофилла, но очевидно его внутреннее строение потрясено и оно лишилось прежней прочности. Всего естественнее предположить, что основания, щелочи или барит, разлагают хлорофиллин, вступая с одной из составных его частей (хлорофиллеином?) в соединение [1] и выделяя другую; а по насыщении их кислотой составные части хлорофиллина снова соединяются, вполне или отчасти, но уже не так прочно, как прежде. Но какая же будет та предполагаемая, неизвестная часть хлорофиллина?

Ввиду этой легкой изменчивости хлорофиллина любопытно было изучить в этом отношении филлоксантин. Мы видели, что, поступая по второму способу Фреми, получаем прямо филлоксантеин (т. е. филлоциановую кислоту Фреми), а не филлоксантин, или смесь того и другого. Для того, чтобы убедиться в аналогии хлорофиллина и филлоксантина, и в этом случае я поступил с баритовым осадком так же, как при получении хлорофиллина, но разлагал хлористоводородною кислотою и получал иногда чистый филлоксантин, иногда смесь его с филлоксантеином. Филлоксантин, полученный по первому способу, осажденный баритом и разложенный кислотой, дал сходные результаты, т. е. снова или филлоксантин, или смесь.

Таким образом, все способы получения хлорофиллина или филлоксантина, основанные на употреблении оснований, не дают удовлетворительных результатов, но для получения хлорофиллина до сих пор неизвестно иного способа, — филлоксантин же может быть получен по первому способу Фреми, не прибегая к действию оснований; впрочем, и тогда, как было замечено выше, в нем иногда примечаются следы филлоксан-

[1] Соединение, по спектру не отличающееся от хлорофиллина.

теина в виде едва приметной, узкой линии в крайней красной части спектра.

В настоящее время, следовательно, мы не в состоянии объяснить, в чем заключается превращение хлорофиллина в хлорофиллеин и филлоксантина в филлоксантеин. Как было замечено выше, самое существование этих последних, т. е. хлорофиллеина и филлоксантеина как самостоятельных тел, может быть подвергнуто сомнению; быть может, они в свою очередь окажутся смесями. Поводом к этому предположению служит непостоянство их спектров, едва ли согласимое с постоянством состава, так, напр., относительная величина двух полос в красной части спектра изменчива — то они равны, то преобладает та или другая. Весьма возможно, что этот спектр представляет сочетание двух простейших. [1]

Убедившись в существовании зеленого тела, хлорофиллина, настоящего ближайшего начала хлорофилла, убедившись в его превращении в филлоксантин при действии кислот, любопытно было воспроизвести обратную реакцию, т. е. превратить филлоксантин в хлорофиллин, или, что все равно, измененный действием кислот хлорофилл — в нормальный зеленый.

Предшествовавшие исследователи, повидимому, считали это превращение невозможным и хлорофилл, измененный кисло-

---

[1] Здесь неуместно было бы распространяться о фактах, убеждающих меня в возможности подобного предположения; замечу только, что при более внимательном исследовании, может быть, и самый спектр хлорофилла окажется не столь простым, каким представляется. Так, при известной *средней концентрации* растворов в средине главной абсорбционной линии, в красной части спектра, обнаруживается minimum черноты. Подобное явление можно объяснить только тем, что линия эта состоит из трех линий, налегающих одна на другую краями; этим объяснилась бы и ее замечательная чернота, сравнительно с остальными полосами хлорофилла и абсорбционными полосами других тел. Сказанного достаточно, чтобы показать, сколько новых вопросов возникает на каждом шагу и как поспешен приговор Микели, что спектроскоп не в состоянии принести пользы при изучении хлорофилла

тами, окончательно, безвозвратно измененным. Действительно, как мы видели, нормальный цвет хлорофилла не возвращается с удалением, т. е. насыщением, кислоты. Никакими испытанными средствами не удалось получить из него вновь хлорофилла. Единственное исключение составляет нормальный хлорофилл Берцелиуса, но зато и получение этого тела представляет единственное непонятное место в его исследовании. Все три видоизменения хлорофилла, им полученные, были очевидно филлоксантин, так как все осаждены из соляной кислоты; [1] но первое видоизменение при продолжительном действии щелочей превращалось в зеленое тело, остальные же два не превращались, несмотря на все попытки. Филлоксантин при действии щелочей действительно не превращается в хлорофиллин, в чем я имел случай неоднократно убедиться. Каким образом получилось зеленое тело из первого видоизменения, решительно невозможно объяснить иначе, как случайною примесью соли железа (как увидим впоследствии).[2]

Ознакомившись ближе со свойствами хлорофилла и продуктов его распадения, я пришел к тому убеждению, что различные черные, бурые и желтые тела, описанные Фильолем, не что иное, как смеси, в различных отношениях, *филлоксантина* с *ксантофиллом*. Наиболее чистый филлоксантин представляют те черные хлопья, которые Фильоль получал, осаждая хлорофилл щавелевой кислотой. Об этом теле Фильоль говорит, что при действии щелочей оно принимает оранжево-желтый цвет, переходящий на воздухе в оливковый, но именно таково действие щелочей на *филлоксантин*. Далее Фильоль говорит, что

[1] В первом случае кислый раствор осаждался водою и осадок был зеленого цвета от присутствия кислой жидкости (Берцелиус говорит, что выложенный на лакмусовую бумагу, он окрашивал ее), но по промывке водою и до обработки едким кали он должен был быть, как и остальные два, бурого цвета. При насыщении кислоты это изменение очевиднее, потому что вся жидкость буреет.

[2] Впрочем, мы увидим далее, что этот факт может объясниться еще другим образом.

при действии щелочного раствора окиси цинка это тело превращается в превосходное зеленое, которое можно осаждать органическими кислотами. Указание было ясно до очевидности; реакция Фильоля давала возможность превратить обратно филлоксантин в хлорофиллин, или измененный кислотами хлорофилл в нормальный.

Предположение это оправдалось вполне. Реакция эта одна из самых любопытных, представляемых хлорофиллом. Ее можно произвести со спиртовым раствором измененного хлорофилла, с филлоксантином или филлоксантеином.[1] Реакцию всего удобнее производить в плоской фарфоровой чашке, чтобы иметь возможно бо́льшую поверхность прикосновения с воздухом. От прилития реактива жидкость мгновенно окрашивается в оранжево-желтый цвет, который почти немедленно превращается в оливковый, постепенно переходящий в более и более высокий зеленый. По прошествии десяти минут или четверти часа, вся жидкость принимает изумрудно-зеленый цвет, свойственный хлорофиллину; спектр оказывается тождественным. Отделение от щелочи можно произвести тремя описанными выше способами: уравнением ее кислотой или хлористым аммонием или насыщением ее и взбалтыванием с эфиром. Итак, хлорофиллин и филлоксантин могут взаимно превращаться. С физиологической точки зрения было вопросом первой важности определить, в чем заключается эта реакция. Всего проще и естественнее предположить, что это восстановление и окисление. В самом деле, медленное превращение филлоксантина в хлорофиллин под влиянием щелочного раствора окиси цинка как бы указывает, что здесь происходит окисление на счет кислорода воздуха. Фильоль, повидимому, нисколько в этом не сомневается и прямо высказывает, что кислород воздуха поглощается, но не приводит тому доказательства. Доказать это

[1] В последнем случае предварительно происходит изменение, сопровождающееся описанным выше превращением спектров.

можно двояким образом: или показав, что в отсутствие кислорода реакции не происходит, или получив ее путем несомненного окисления, т. е. при действии окисляющих веществ. Но ни тем ни другим способом мне не удалось еще получить этого доказательства. Впрочем, ввиду экспериментальных трудностей, с которыми сопряжен первый способ доказательства, полученный отрицательный результат ничего еще не доказывает. Как убедителен был бы один положительный результат, так мало убедительны даже несколько отрицательных.[1] Что же касается до действия окисляющих веществ, то более энергические, как, напр., хлор, вовсе разрушали цветное тело, другие же, как, напр., перекись водорода и терпентинное масло, не оказывали вовсе действия. Азотная кислота, даже в самых слабых растворах, действует, как кислота, т. е. не только превращает филлоксантин в хлорофиллин, но вызывает обратную реакцию. Впрочем, повторяю, эти отрицательные результаты, по моему мнению, не уничтожают еще возможности и даже вероятности окисления.

Но если эта реакция — окисление, то обратная должна быть восстановление. Таково действительно господствующее мнение. Берцелиус, Мульдер, Шульце, а за ними и Сакс, считают реакцию, при которой хлорофилл буреет, восстановлением. К сожалению, и это мнение не основано на фактических

[1] Как уже неоднократно было замечено, количества вещества, с которыми приходится работать, можно сказать, почти невесомы, и поэтому количества кислорода, необходимые для окисления, так ничтожны, что при всех предосторожностях нельзя быть уверенным, что его не заключалось в испытуемых жидкостях и атмосфере.

Опыт я производил следующим образом: в коленчатой трубке с шариками помещались в одном шарике спиртовой раствор филлоксантина, в другом — раствор окиси цинка. Чрез весь прибор пропускался в продолжение получаса водород, проходивший пузырьками чрез обе жидкости. По прошествии этого времени, прибор был запаян и обращен. Пришедшие в прикосновение жидкости обнаружили зеленую реакцию хотя, повидимому, не так скоро, как на воздухе.

доказательствах. Обыкновенно приводят в доказательство тот факт, что смесь соляной кислоты с цинком уничтожает зеленый цвет хлорофилла, превращая его в желтый, но этот факт нисколько не убедителен, так как соляная кислота сама по себе оказывает то же действие. Дальнейшее действие, без сомнения, принадлежит водороду; оно заключается в постепенном уничтожении пигмента, что и обнаруживается в спектроскопе постепенным суживанием, как бы таянием, абсорбционных линий. В конечном результате получается совершенно бесцветная жидкость, в которой, вопреки многим исследователям,[1] никакими реактивами нельзя снова восстановить даже следов прежнего пигмента.

Ввиду этого обстоятельства любопытно было найти какое-либо восстановляющее средство, помимо соляной кислоты и цинка, при котором первоначальное действие водорода остается неизменным. Для этого как источник водорода я употребил едкое кали и цинк, но выбор этот был неудачен, так как продукт реакции (щелочной раствор окиси цинка) — то самое вещество, которое производит обратную реакцию; следовательно, одновременно происходят две диаметрально противоположные реакции. Тем не менее вначале можно было заметить изменение в цвете хлорофилла.

Сернистый аммоний и реактив Стокса дали отрицательные результаты.

---

[1] Впрочем, это замечание не относится к самому Берцелиусу, который описывает факт со всевозможными ограничениями, а к тем авторам, которые ссылаются на его опыт, каковы: Шульце, Сакс и др. Берцелиус говорит, что зеленоватое вещество, образующееся при выпаривании цинкового раствора, незначительно в сравнении с взятым веществом и притом грязнозеленого цвета. Из этого составили теорию, что хлорофилл восстановляется водородом, а полученное желтое тело при выпаривании снова окисляется и превращается в хлорофилл.

Что касается до *бесцветного* тела, найденного Прейсером и упоминаемого Саксом (Chem. Centr. Bl. 1859), которое будто бы *зеленеет на свету*, то его следует, по всей вероятности, отнести к области фантазии.

Шульце утверждает, что глюкоза оказывает такое же действие, как водород, но, несмотря на многочисленные опыты, мне не удалось получить этой любопытной реакции.

Таким образом, все попытки простого, непосредственного восстановления или окисления оказались безуспешными. Впрочем, простейшего размышления достаточно, чтобы убедиться, что реакция эта не может быть так проста. Очевидно, что в превращении филлоксантина в хлорофиллин играет какую-нибудь роль окись цинка.[1] Этот факт навел меня на мысль, не находится ли это превращение в какой-либо связи с присутствием в хлорофилле железа и не окажется ли возможным заменить окись цинка окисью или закисью железа.

Для этого я осаждал измененный хлорофилл, или филлоксантин, сернокислой закисью или окисью железа и полученный оранжево-бурый осадок кипятил с едким кали; филлоксантин растворялся в щелочной жидкости, с изумрудно-зеленым цветом, следовательно, превращался в хлорофиллин.

Итак, превращение филлоксантина в хлорофиллин, по всей вероятности, явление сложное, зависящее одновременно от окисления и от неизвестного влияния окислов железа или цинка. Соли кобальта и никеля не оказали того же действия. На важное физиологическое значение этой реакции будет обращено внимание в следующей главе.

Весьма возможно, что действие кислот на хлорофилл аналогично их действию на гемоглобин, из которого концентрированная серная кислота извлекает железо. По Мульдеру, это железо, растворяясь в серной кислоте в виде закиси, выделяет водород. Если что-либо подобное происходит с хлорофиллом, то понятно, почему действие кислот будет восстанов-

[1] Выше было сказано, что от действия щелочей филлоксантин принимает оливковый цвет; филлоксантин, осажденный баритом, принимает на воздухе (только с поверхности, а не во всей массе) еще более решительный зеленый цвет; с окисью цинка цвет изумрудно-зеленый. Здесь очевидна некоторая последовательность.

ляющее, а также понятно, что для обратной реакции необходимы одновременно присутствие железа или цинка и окисление.

С другой стороны, развивая далее гипотезу Фреми в том же смысле, как на странице 45, можно бы предположить, что железо и есть то неизвестное нечто, которое вытесняется основаниями.

К числу замечательных особенностей хлорофилла следует отнести его превращение под влиянием солнечного света. Мы видели, что растворы хлорофилла (спиртовые или эфирные), выставленные на солнечный свет, по прошествии непродолжительного времени буреют, желтеют и, наконец, окончательно обесцвечиваются, и тогда никакими реактивами нельзя обнаружить в них присутствие пигмента. Это превращение весьма любопытно с физиологической точки зрения, и потому необходимо было изучить его поближе.

Спектральное исследование показало полное сходство между хлорофиллом, измененным действием света (инсолированным), и хлорофиллом, измененным действием кислот; другими словами, оно показало, что это изменение состоит в превращении хлорофилла в филлоксантин. Справедливость этого заключения вполне оправдалась, когда побуревший от света хлорофилл, подверженный действию цинкового реактива, снова получил утраченный зеленый цвет. Подобным образом мне удавалось восстановить хлорофилл листьев, засушенных на солнце, напр., листьев китайского чая, так что пигмент, извлеченный из листьев испитого чая, получил тот же свежий зеленый цвет, которым он обладал на плантациях Китая.

Факт этот имеет, по моему мнению, важное физиологическое значение. До сих пор все исследователи принимали изменение хлорофилла под влиянием света за окончательное его разрушение и никак не предполагали, чтобы можно было восстановить утраченный зеленый цвет. Впрочем, при дальнейшем действии света пигмент действительно начинает разру-

шаться и, наконец, жидкость вполне обесцвечивается. В этом отношении действие света вполне сходно с действием водорода. Сначала хлорофиллин превращается в филлоксантин — хлорофилл буреет, затем филлоксантин начинает разрушаться — хлорофилл принимает желтый оттенок. В спектроскоп можно следить, как сглаживаются, тают абсорбционные полосы, пока, наконец, остается только одна в красном поле; затем и та исчезает. К этому времени раствор уже чистого желтого цвета и содержит один ксантофилл, который, повидимому, прочнее филлоксантина.

Подобная же последовательность наблюдается при желтении листьев осенью, чем и объясняются противоречивые показания авторов: по одним, желтые листья синеют от кислот; по другим, — не представляют этой реакции. То и другое справедливо, но относится к различным периодам желтения. Реакция с кислотой доказывает, что еще не весь филлоксантин разложился.

Сходство с действием водорода служит указанием, что действие света восстановляющее. В науке, однако, как мы видели, господствует обратное мнение: предполагается, что это превращение — окисление. В своем месте была показана несостоятельность опытов Жодена и приведены более точные факты Мюллера: тем не менее не подлежит сомнению, что в отсутствие воздуха этого явления не происходит. Мы видели в начале главы, что в запаянных трубках, не содержащих воздуха, хлорофилл не изменяется; там же было упомянуто, что эфирные растворы гораздо постояннее спиртовых.

Остается еще упомянуть об одной любопытной и, быть может, весьма важной в физиологическом отношении реакции. Руководясь аналогией хлорофилла и пигментов крови (т. е. предполагая, что гемоглобину соответствует филлоксантин, а окси-гемоглобину — хлорофиллин), я пытался найти, не существует ли и для хлорофилла тело, соответствующее карбонил-гемоглобину, т. е. хлорофиллин, в котором кислород был

бы замещен окисью углерода. Для этого я пропускал через филлоксантин струю окиси углерода, чтобы посмотреть, не произойдет ли поглощения, сопровождаемого изменением в цвете. Результатов не оказалось. Я подвергал спиртовой и щелочной раствор филлоксантина действию окиси углерода, в запаянной трубке в водяной и масляной бане,— результатов также не оказалось. Тогда я испробовал действие окиси углерода в момент выделения, так как в природе всего вероятнее подобное действие. Для этого я прибегнул к следующему, довольно окольному пути. Источником окиси углерода я избрал разложение щавелевой кислоты глицерином. Но так как филлоксантин не растворим в глицерине, то следовало смешивать последний со спиртовым раствором, так что, по мере испарения спирта, филлоксантин выделялся в виде мельчайшего взвешенного в жидкости осадка. В нагретую жидкость бросались маленькие кристаллики щавелевой кислоты. Количества кислоты должны были быть весьма малы, так как щавелевая кислота весьма энергически действует на хлорофилл, превращая хлорофиллин в филлоксантин. Желая вовсе избежать действия щавелевой кислоты, я испробовал действие щавелевоаммиачной соли. Оказалось, что и она разлагается глицерином с выделением окиси углерода, но и при употреблении аммиачной соли жидкость вскоре становилась кислой, вероятно, вследствие образования муравьиной кислоты. Впрочем, я убедился предварительно, что муравьиная кислота, подобно уксусной, не оказывает никакого действия на хлорофилл, если не употреблена в избытке.

Как бы то ни было, избегая избытка щавелевой кислоты, можно по прошествии некоторого времени заметить, что бурая мутная жидкость принимает зеленый оттенок. Тогда, разводя ее водою и взбалтывая с эфиром, можно извлечь зеленое тело. После первой подобной операции оно еще грязновато-зеленого цвета, но повторяя операцию несколько раз, получаем ярко-зеленое тело, хотя несколько иного (черноватого) оттенка,

чем хлорофиллин. Подобная повторная обработка представляет даже удобство, так как легче избегается избыток щавелевой кислоты.

Спектр полученного тела вполне сходен со спектром хлорофиллина, но подробнее мне не удалось его изучить.[1] Повидимому, тело это постояннее относительно кислот, т. е. не так легко изменяется. Есть ли это тело действительно соединение с окисью углерода, соответствующее карбонил-гемоглобину, — на основании приводимых фактов трудно еще решить, хотя, с другой стороны, трудно дать другое объяснение этому превращению.

Присутствует ли подобное тело в хлорофилле, также трудно решить вследствие полного сходства его спектра со спектром хлорофиллина. Быть может, для их разделения можно будет воспользоваться их отношением к кислотам. Действительно, хлорофилл различных растений от прибавления кислоты принимает различные оттенки бурого цвета, приближающиеся к оливковому. Впрочем, это лишь предположение.[2]

Повторяю вкратце выводы, которые можно сделать из приведенных выше фактов.

I. Хлорофилл [3] состоит из двух тел, характеризующихся определенными оптическими признаками, из зеленого — *хлорофиллина* и желтого — *ксантофилла.* Таким образом, гипотеза Фреми о существовании синего тела должна быть навсегда покинута.

II. Хлорофиллин при действии кислот и солнечного света превращается в филлоксантин (филлоксантеин Фреми),

[1] Я повторял эту реакцию неоднократно с одинаковым успехом, но всегда над небольшими количествами вещества.

[2] Быть может, присутствием этого тела в черновато-зеленых листьях *Crataegus Aria*, исследованных Берцелиусом, объясняется первое видоизменение хлорофилла, не теряющего своего зеленого цвета даже после растворения в соляной кислоте?

[3] Здесь разумеется только красящее начало.

чем и объясняется изменение хлорофилла при действии кислот и света. Дальнейшее действие света состоит в разрушении филлоксантина и ксантофилла.

III. Ксантофилл неспособен превращаться в хлорофиллин или обратно. Осенняя окраска листьев объясняется более быстрым изменением и разрушением хлорофиллина, а не превращением его в ксантофилл. Хлорофилл, по всей вероятности, представляет смесь хлорофиллина и ксантофилла, а не соединение, как полагает Феми.

IV. Как хлорофиллин, так и филлоксантин способны, при не вполне еще определенных условиях, разлагаться, давая начало телам, которые, ради удобства, можно временно назвать: хлорофиллеином и филлоксантеином (филлоциановая кислота Феми).

V. Обратное превращение филлоксантина в хлорофиллин происходит, повидимому, при содействии кислорода воздуха и, несомненно, при содействии окислов железа или цинка.

VI. Весьма вероятно существование соединения филлоксантина с окисью углерода.

VII. Определение относительных количеств хлорофилла путем спектрального анализа представляется возможным, так как существует средство сохранять хлорофилл неопределенное время без изменения.

В следующей главе мы сделаем выводы из приведенных фактов, постараемся показать, какое отношение они имеют к жизни растения, насколько они могут служить для построения гипотезы о физиологическом отправлении хлорофилла.

3. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ

Факты, изложенные в предшествовавшей главе, проливают новый свет на два важные физиологические вопроса. Эти вопросы: влияние железа на растительность и значение хлорофилла в процессе усвоения углерода. Так как эти вопросы не находятся в непосредственной связи или, по крайней мере, эта связь для нас еще темна, то мы можем рассмотреть их отдельно.

Исследование обоих Гри (отца и сына), Сальм-Горстмара, Сакса и др., с одной стороны, Верделя и Пфаундлера—с другой, несомненно доказали: что железо необходимая составная часть хлорофилла; что отсутствие железа в питающей среде вызывает болезненное состояние растения, так называемый хлорозис, или бледную немочь; что эту болезнь, появившуюся естественно или вызванную искусственно, можно излечить, доставив растению необходимые железные соли. В последнем отношении особенно любопытен опыт Артюра Гри, который непосредственно смачивал хлоротические листья железною солью и получал образование зеленого хлорофилла только на тех местах, которые были смочены. Кноп сначала выступил противником этого мнения, но в недавнее время, на основании точных опытов, также пришел к заключению, что хлорозис вызывается отсутствием железа.

Превращение филлоксантина в хлорофиллин при содействии железа дает нам объяснение этого действия железа: по всей вероятности, хлоротические листья, подобно этиолированным, содержат филлоксантин, который и превращается, при действии железа, в хлорофиллин.

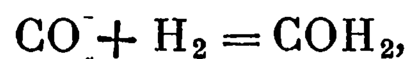
Любопытно было бы исследовать в этом отношении и действие солей цинка. Риссе делал опыты замещения железа кобальтом, никелем или марганцем; оказалось, что они неспособны, подобно железу, излечивать хлорозис. Действительно, мы видели, что превращение филлоксантина в хлорофиллин не происходит при действии солей кобальта и никеля, относительно же действия цинка на хлоротические растения не имеется данных. Но известно, что существуют растения, содержащие заметные количества цинка, и преимущественно в воздушных, следовательно, зеленых частях, особенно в листьях; весьма возможно, даже вероятно, что цинк в этом случае замещает железо. Крайне любопытно было бы проверить это опытом, т. е. испробовать действие цинка на хлоротические растения.

Переходим теперь к другому вопросу, который должен собственно представлять цель всех исследований над хлорофиллом, — к разъяснению физиологической роли хлорофилла. Посмотрим, насколько полученные данные могут служить для построения гипотезы о значении хлорофилла в процессе усвоения углерода.

Взгляд, весьма сходный с тем, который будет развит на следующих страницах и которым я руководился при своих исследованиях, был высказан в недавнее время Адольфом Бейером, и это придает мне смелость развить мой взгляд, тем более, что он подкрепляется доводами и фактами, правда, далеко не достаточными, но все же более убедительными, чем голословные предположения Бейера.

Вот что говорит Бейер по этому поводу: «Неоднократно указывали на аналогию между пигментом крови и хлорофиллом. В этом случае весьма вероятно, что подобно гемоглобину, и хлорофилл связывает окись углерода. Повидимому, когда солнечный луч падает на хлорофилл, окруженный углекислотою, то эта углекислота претерпевает такую же диссоциацию, как при действии высокой температуры: выделяется

кислород, а окись углерода соединяется с хлорофиллом. Простейшее восстановление окиси углерода заключается в превращении ее в алдегид муравьиной кислоты; для этого ему стоит только соединиться с водородом:



$$CO + H_2 = COH_2,$$

а этот алдегид, под влиянием содержимого клеточек, так же как под влиянием щелочей, превращается в сахар». [1]

Приступаю к изложению моей гипотезы и изложу ее в следующих трех пунктах, сходных с посылками Бейера.

Роль хлорофилла в процессе усвоения углекислоты объяснится, если допустить:

Во-первых, что углекислота атмосферы претерпевает диссоциацию под влиянием солнечного луча.

Во-вторых, что хлорофилл существует в двух видоизменениях, аналогических гемоглобину и окси-гемоглобину, т. е. взаимно превращающихся путем окисления и восстановления, а также способен образовать соединение, аналогическое карбонил-гемоглобину.

В-третьих, что хлорофилл способен выделять на солнечном свете кислород, на место которого поступает окись углерода, которая, в свою очередь, обмениваясь с кислородом воды, дает начало телу COH_2 и первоначальному хлорофиллу.

На основании этого воззрения, хлорофилл находится в постоянном превращении и служит для передачи окиси углерода растительному организму, подобно тому, как кровь служит для передачи кислорода животному организму.

1. Против первого положения обыкновенно возражают: нельзя допустить, чтобы такое прочное соединение, как углекислота, разлагающееся только при употреблении самых энергических средств, могло разлагаться от действия одного солнечного света. Но ведь разложение ее есть факт, а с другой

[1] Т. е. в метиленитан, полученный Бутлеровым из формалдегида (ди-оксиметилена).

стороны, не подлежит сомнению, что необходимый на то запас силы доставляется солнцем. Исходя из основного закона термохимии (Бертло), что каковы бы ни были промежуточные превращения, количество энергии, необходимое для превращения исходных веществ в конечные продукты реакции, должно быть одно и то же, мы должны допустить, что никакие промежуточные комбинации не в состоянии убавить на одну иоту потребное количество живой силы. Покуда разложение углекислоты удавалось только при содействии веществ, обладающих энергическим сродством к кислороду, естественно было предполагать какой-нибудь подобный источник силы в растении, но теперь, когда благодаря в особенности работам С. К. Девиля, мы знаем, что это распадение может происходить при непосредственном приложении живой силы, т. е. путем диссоциации, нет причины предполагать в растении присутствие тела, одаренного энергическим сродством; к тому же образование подобного тела потребовало бы такого же поглощения живой силы, как и разложение углекислоты, т. е. мы нуждались бы в таком же объяснении для происхождения этого тела, какое нужно для объяснения разложения углекислоты.

Итак, очевидно, что разложение углекислоты должно происходить от непосредственного приложения живой силы, без участия химического сродства, т. е. должно быть явлением диссоциации.

Но здесь представляется новое возражение: диссоциация углекислоты до сих пор наблюдалась только при весьма высокой температуре, разложение же углекислоты растением происходит при обыкновенной температуре. В ответ на это возражение рассмотрим условия, при которых происходит это явление.

На основании исследований Девиля, Добре и других, *напряжение* (tension) *диссоциации* увеличивается с повышением температуры и с уменьшением как общего, так и частного (парциального) давления — двумя обстоятельствами, увели-

чивающими вообще *дисгрегацию* тела (в смысле Клаузиуса), конечное выражение которой и есть его диссоциация. Быстрота диссоциации увеличивается удалением ее продуктов механическим путем (напр. диффузией) или химическим, посредством поглощения. Это понятно, потому что с удалением продуктов диссоциации напряжение ее никогда не достигает предела.

Спрашивается: существует ли какое-либо теоретическое или фактическое препятствие к допущению, что углекислота в тех условиях, в которых она находится в атмосфере на пути солнечного луча, претерпевает отчасти диссоциацию?

Мне кажется, что с теоретической точки зрения ответ не может быть отрицательный. Допуская теорию диссоциации Девиля, т. е. аналогию между явлением диссоциации и явлением испарения жидкостей, между напряжением диссоциации и упругостью паров, — а для расматриваемого случая эта теория, насколько мне известно, никем не оспаривается,[1] — мы должны допустить, что для каждой температуры и давления должно существовать известное, хотя бы бесконечно малое, напряжение диссоциации. Тем более оно должно существовать при том ничтожном давлении, при котором углекислота находится в атмосфере, особенно же в присутствии поглотителя, за каковой (на основании предлагаемой гипотезы) должно принимать хлорофилл. Не следует также упускать из виду, что углекислота (как вообще сложные газы, по Тиндалю) отличается энергически поглощением лучистой теплоты, а это поглощение должно сопровождаться дисгрегацией тела.[2]

Если мы обратимся к оценке количества теплоты, необходимой для этого процесса, то увидим, что он далеко не так

[1] Противоречие между теорией Девиля и опытами Бунзена и Бертло не касается занимающего нас вопроса.

[2] Тиндаль испытывал действие света на углекислоту известным оптическим способом и получил облачко, которое, однако, приписывает присутствию нечистот в трубке. Впрочем, едва ли можно ожидать чтобы разложение CO_2 обнаружилось подобными оптическими явлениями.

энергичен, как кажется. Подобно многим явлениям в природе, он поражает нас своими последствиями, потому что совершается постоянно, в продолжении долгих периодов времени.

Если мы определим, с одной стороны, количество единиц тепла, необходимое для этого процесса диссоциации, а с другой — количество единиц тепла, доставляемое солнцем за тот же промежуток времени, то убедимся, что приход с избытком покрывает расход, как и следовало ожидать, зная, что солнце единственный источник силы и что значительная часть ее тратится и на другие процессы, каковы испарение и проч. Зная среднее количество CO_2, разлагаемое известною поверхностью листа в известный промежуток времени, напр., одним квадратным дециметром в час (величина эта взята из опытов Буссенго и моих собственных), легко определить число единиц тепла, потребное на диссоциацию этого количества углекислоты и соответствующего количества воды. Зная, с другой стороны, из опытов Пулье, [1] количество единиц тепла, получаемых от солнца тою же поверхностью, в тот же промежуток времени, убедимся, что последнее количество превышает первое слишком *во сто раз.*

Переходим ко второй части вопроса. Посмотрим, не существует ли фактов, которые прямо доказывали бы невозможность сделанного предположения о диссоциации углекислоты. Самое естественное возражение следующее: если бы углекислота диссоциировалась, то в атмосфере находились бы следы окиси углерода, между тем их не существует. Против этого можно возразить: во-первых, что определение таких ничтожных следов CO сопряжено с почти непреодолимыми трудностями (если они составляют ничтожную часть CO_2, которая в свою очередь составляет 0.0004 атмосферного воздуха) и на нее не было обращено внимания; во-вторых, что Соссюр, при своих многочисленных определениях углекислоты, действительно на-

[1] Правда, поверхность пиргелиометра покрыта сажею, но, по Мелони, поглощающая способность листьев также очень высока.

ходил следы горючего газа, содержавшего углерод, и, наконец, в-третьих, и это самое существенное возражение, что мы предполагаем диссоциацию под влиянием солнечного лучеиспускания, следовательно, газы должны быть захвачены в том состоянии, в котором они находятся на пути солнечного луча, в противном случае они могут вновь соединиться. Известно, напр., что явление аналогическое замечено Кальте относительно газов доменных печей: газ, взятый обыкновенным путем, состоял из углекислоты, между тем как проба того же газа, захваченного in statu quo, т. е. зачерпнутого посредством трубки Девиля (tube chaud et froid), оказывается состоящею из CO и O. Можно еще возразить, что образовавшаяся окись углерода должна быстро диффундировать, как диффундирует окись углерода и кислород в остальной массе углекислоты, в опыте Девиля. Но различие очевидно: там газы диффундируют в массе инертного газа, между тем как здесь окись углерода встречает в изобилии кислород, с которым может вновь соединиться.

Взвесив обстоятельства, говорящие за и против возможности диссоциации углекислоты, обратимся теперь к обстоятельствам, указывающим на вероятность этого предположения. Эти обстоятельства могут быть выражены следующим образом: *условия, благоприятствующие диссоциации тел, благоприятствуют и разложению* CO_2 *в растении.*

1. *Напряжение диссоциации увеличивается с увеличением температуры.* Известно, что разложение углекислоты зависит от температуры. При температуре ниже 10° разложение, повидимому, не происходит; противоположный высший предел не определен и, по всей вероятности, будет зависеть от других особенностей организма. Далее известно, что разложение определяется лучами наименее преломляющейся части спектра, следовательно, лучами, обладающими относительно большею энергиею. Наконец, следует заметить, что присутствие веществ, сильно поглощающих тепловые лучи, каковы, напр., пары терпентинного масла, значительно ослабляют этот процесс,

хотя не оказывают абсолютно вредного действия на растительные органы.

2. *Напряжение диссоциации увеличивается с уменьшением давления.* Давно уже замечено, что растения не разлагают углекислоты, если находятся в атмосфере, состоящей исключительно из этого газа. Это объясняли или положительно вредным ее действием или отсутствием кислорода. Буссенго показал, что ни то, ни другое объяснение неверно и что разложение происходит и в атмосфере чистой углекислоты, но не так энергично. Он показал, что это явление зависит от давления, как частного, т. е. содержания углекислоты в атмосфере, так и общего. По мере разбавления углекислоты каким-нибудь газом увеличивается количество разлагаемой углекислоты. То же наблюдается при уменьшении давления: атмосфера чистой углекислоты почти не разлагается при давлении одной атмосферы и легко разлагается при давлении 50 мм. Аналогия с явлением диссоциации очевидна.

3. *Быстрота диссоциации увеличивается присутствием тела, поглощающего продукты реакции.* Это значение поглотителей обнаруживается во множестве реакций разложения, вызываемых солнечным светом. Буссенго приводит любопытный опыт, для которого он, впрочем, не дает объяснения, но который может быть объяснен, исходя из этого предположения. Листья, выставленные на свет в атмосфере водорода и углекислоты, разлагали сравнительно более значительное количество этой последней, когда рядом с ними помещалась палочка фосфора. Это можно объяснить тем, что оба продукта диссоциации поглощались одновременно, чем постоянно нарушалось равновесие между углекислотой и продуктами диссоциации.

Таким образом, на основании предлагаемой гипотезы, растение ограничивается только ролью поглотителя, постоянно нарушающего равновесие между углекислотой и продуктами ее диссоциации. Это действие растения станет еще более понятным из следующего, весьма близкого примера.

Известно, что растения способны разлагать кислые углекислые соли, например, извести. Помимо опытов (Дрепер, Коренвиндер), это доказывается наблюдением подводных растений, покрывающихся в известковых водах корою извести. Объяснение этого факта весьма просто. Опыты Жернеза показывают, что кислые углекислые соли разлагаются, если пропускать через них струю воздуха. Он объясняет это так: эти соли отчасти разлагаются; предел диссоциации определяется равновесием, наступающим между неразложенною солью и находящеюся над нею атмосферой углекислоты; удаление последней вызывает разложение нового количества соли и т. д. Таково же, по всей вероятности, действие зеленых частей растений: разлагая растворенную в воде углекислоту, они способствуют выделению нового количества ее и т. д. Действие их на CO_2 аналогично: поглощая CO, они способствуют диссоциации нового количества CO_2.

Вот те факты и соображения, которые можно привести по поводу первого из поставленных нами пунктов.

II. Насколько вероятна посылка, высказанная во втором пункте, мы видели уже в предшествовавшей главе. Мы видели, что хлорофиллин, филлоксантин и предполагаемый продукт, получающийся при действии окиси углерода, представляют очевидную аналогию с гемоглобином и пр. Замечу только, что образование соединения с CO совершенно согласно с тем, что наблюдается в растении. В самом деле, если бы филлоксантин был способен прямо поглощать окись углерода, то и растения могли бы поглощать ее, на основании опытов Буссенго, этого не бывает. Очевидно, что в том и другом случае играет роль момент выделения.[1]

[1] Это понятие принимается здесь в том смысле, который придает ему, напр., Фавр в своих термохимических исследованиях, т. е. под телом в момент выделений разумеется тело, содержащее известное количество связанной теплоты. Известно, что по исследованиям Бертло синтез многих органических веществ (наприм., муравьиной кислоты) сопровождается

III. Переходим к третьему пункту. Оказывает ли солнечный свет действительно раскисляющее действие на хлорофилл? Если окажется, что превращение хлорофиллина в филлоксантин есть раскисление, а мы видели, что это весьма вероятно, то этот пункт можно будет считать доказанным. Выделение кислорода, правда, еще не удавалось наблюдать (по всей вероятности, по ничтожеству количеств хлорофилла, с которым приходится иметь дело) и даже наблюдалось обратное, т. е. поглощение кислорода, но эти опыты требуют еще проверки [1].

Но здесь рождается другой вопрос: происходит ли это превращение хлорофилла в филлоксантин в живых частях растений и как согласить это превращение с зеленым цветом, который листья сохраняют на свете. В этом и заключается самый узел предлагаемой гипотезы. Должно допустить, что при обыкновенных условиях происходят одновременно два противоположные процесса: хлорофилл превращается в филлоксантин с выделением кислорода, но на место выделившегося кислорода поступает окись углерода, освободившаяся из углекислоты; таким образом, именно вследствие разложения углекислоты, сохраняется зеленый цвет листьев. Следовательно, в отсутствие последнего процесса, листья должны изменять свой нормальный цвет, что и замечается в природе. Осенью, когда, по всей вероятности вследствие понижения температуры ниже minimum, потребного для разложения углекислоты, усвояющая деятельность прекращается, разрушающая деятельность света берет перевес и обнаруживается желтением листьев. Макер-Принсеп и Моль не сомневаются в том, что желтение вызывается светом, а не низкой температурой: защищая растения от света, им удавалось предохранить их от желтения. Всего нагляднее

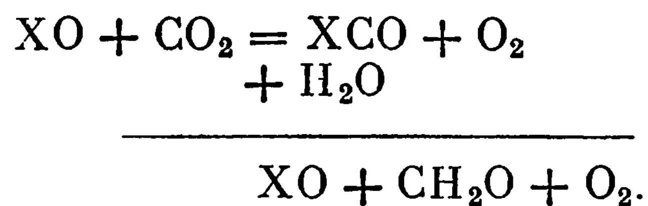
поглощением теплоты. Быть может, этим и объясняется значение момента выделения.

[1] Более сильным доводом против служит необходимость присутствия воздуха, которое доказано несомненно.

обнаруживается это явление на зимующих листьях, напр., у туи: нижняя поверхность ее сплющенных стеблей, покрытых чешуистыми листьями, сохраняет зеленый цвет, между тем как верхняя, подверженная действию света, желтеет; весной, с наступлением тепла, когда начинается усвоение углерода, верхняя поверхность снова начинает зеленеть и вскоре не отличается более от нижней.[1] Аскенази, которому мы обязаны этим любопытным наблюдением, говорит, что при комнатной температуре туя не желтела; по всей вероятности, при этих условиях могло происходить, хотя в весьма слабых размерах, разложение углекислоты.

Справедливость этого воззрения можно было бы проверить опытом. На основании защищаемого взгляда, в атмосфере, не содержащей углекислоты, листья должны желтеть на солнце. По наблюдениям Соссюра в атмосфере, лишенной углекислоты, листья действительно быстро вянут, но он не говорит, сопровождается ли это изменением в цвете.

Итак, вот окончательная форма, в которой является предлагаемая гипотеза. Означив все элементы, входящие в состав филлоксантина (C, N, H, O, Fe?) чрез X, а хлорофиллин чрез XO; допустив, что CO становится на место выделяющегося кислорода, допустив далее, что происшедшее тело, вследствие ряда неизвестных нам реакций, вступает в обменное разложение с элементами воды[2] и дает начало первоначальному хлорофиллину и телу общей формулы CH_2O, — получим



$$\begin{array}{r} XO + CO_2 = XCO + O_2 \\ + H_2O \\ \hline XO + CH_2O + O_2. \end{array}$$

---

[1] Для зеленения растительных органов мы можем допустить два пути: ассимиляцию углерода, т. е. присоединение CO, и путь окисления. Этим последним путем, вероятно, происходит зеленение в отсутствие света как напр. в семянодолях хвойных и в других подобных случаях.

[2] Разложение воды в растении доказал Буссенго.

Таким образом, конечные продукты реакции будут: тело общей формулы углеводов и первоначальный хлорофиллин, способный к дальнейшему превращению. Что за тело будет это CH_2O, будет ли это формалдегид, способный, по исследованиям Бутлерова, превращаться в сахаристое тело метиленитан, или какое другое тело — трудно решить. Первый продукт реакции, обнаруживаемый посредством микроскопа, оказывается крахмал; в некоторых случаях пяти минут инсоляции достаточно, чтобы вызвать в зерне хлорофилла появление этого тела. Если крахмал этот[1] является конечным результатом целого ряда усложнений или уплотнения частицы, то это превращение должно происходить с изумительною быстротою.

Эта гипотеза может объяснить, каким образом тело, распространенное в таких ничтожных количествах, может играть такую важную роль в природе. Благодаря постоянному метаморфозу, ничтожное количество хлорофилла способно превратить в углеводы неопределенные количества углекислоты и воды. Таким образом, хлорофилл служит для передачи растительному организму окиси углерода, подобно тому, как кровь служит для передачи животному организму кислорода.

Такова гипотеза, которой я руководился при своих исследованиях. Я полагаю, она принесет известную долю пользы, так как может послужить исходной точкой для целого ряда экспериментальных исследований, которые ее подтвердят... или опровергнут.

Я решаюсь ее высказать только потому, что теперь могу поставить ее под защиту такого научного авторитета, как Адольф Бейер.

[1] До сих пор мы не имеем несомненного экспериментального доказательства, что этот крахмал действительно новообразованный, т. е. продукт ассимиляции, но это в высшей степени вероятно.

4. ЛИТЕРАТУРА

Ångström, A. J. Ueber die grüne Farbe der Pflanzen.—Pogg. Ann. 1854.
Askenasy, E. Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls &c.—Bot. Zeitung. 1867.
Bäyer, A. Ueber die Wasserentziehung & c.—Berichte. d. Deutsch. Chem. Ges. 1870.
Becquerel, E. La lumière &c, t. II.— Paris, 1868.
Benoit. R. Etudes spectroscopiques sur le sang.— Paris, 1869.
Bernard, Claude. L'asphyxie par la vapeur de charbon.— Revue des Cours 1869—70.
Berthelot, M. Méthodes générales de synthèse.—Paris, 1864; Sur les lois qui président au partage d'un corps entre deux dissolvants.— Bullet. Soc. Chim. 1870. Sur les équilibres chimiques entre le carbone l'hydrogène et l'oxygène &c.— Ibid.
Berzelius. J. Untersuchung des Blattgrüns.— Ann. Chem. u. Pharm. 1838; Lehrbuch, 7.—B. 1838.
Bonnet, C. Recherches sur l'usage des feuilles. — Leide, 1754.
Boussingault. Agronomie, Ch. Agr. et Phys. t. IV, 1868. Sur les fonctions des feuilles.— Ann. d. Sc. Nat. 1869.
Brewster S. D. On the decomposition and dispersion of light within solid and fluid bodies. Edinb. R. Soc. Trans. 1847. On the colours of natural bodies.—Ibid. 1833.
Bunsen, R. Absorptionsspectrum des Didyms. Pogg. Ann. CXXVIII, 1866.— Ibid. CXXXI, 1867.
Butlerow, A. Bildung einer zuckerartigen Substanz durch Synthese. Ann. Ch. u. Pharm. 1861.
Cailletet. de la dissociation des gaz dans les foyers métallurgiques.— C. R. 1866.
Candolle (de). Expériences relatives à l'influence de la lumière sur quelques végétaux.— Mém. des Sav. Etrang. I. Paris, an 8.
Cohn, F. Beiträge zur Physiologie der Phycochromaceen und Florideen.— Arch. f. mikr. Anat. Max. Schultze. III, 1.

Correnwinder. Recherches chimiques sur la végétation. Fonction des Feuilles.— C. R. 1866.
Deville, Sainte-Claire (H). Leçons sur la dissociation.— Leç. prof. à la Soc. Chim. 1866.
Draper, W. A treatise on the forces which produce the organisation of plants.— New-York, 1847.
Famintzin, A. Die Wirkung des Kerosinlampenlichtes auf Spirogyra orthospira Naeg.— Prongsheim s Jahrb., B. VI.
Favre, P. A. Thermochimie &c.—C. R. LXIII, LXVI, LXVII.
Filhol, E. Recherches sur les propriétés chimiques de la chlorophylle.— C. R. 1866.
Recherches sur la matière colorante verte des plantes.— C. R. 1868.
Fremy. Recherches chimiques sur la matière verte des feuilles.— C. R. 1860; Ann. d. Ch. et Phys. 1866; Ann. de Ch. Ph. 1866.
Gernez. Phénomènes de sursaturation &c.—C. R. 1866.
Gris, A. Recherches microscopiques sur la Chlorophlylle. — Ann. d. Sc. Nat. 1857.
Gris, E. Action des sels ferrugineux &c.— 1847.
Hagenbach, F. Untersuchung über die optischen Eigenschaften des Blattgrüns.— Pogg. Ann. 1870.
Harting, P. Ueber das Absorptionsvermögen des reinen und des unreinen Chlorophylls für die Strahlen der Sonne.—Pogg. Ann. 1855.
Hartman. Sur la matière verte des feuilles.—Bullet. de la Soc. Industrielle de Milhouse, t. XXVI.
Heropath, B. (Спектральные наблюдения над хлорофиллом, обнародованные после смерти автора).— Month. Journ. of Micr. Sc. 1869.
Herschel, J. W. On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colours.— Philosoph. Trans. 1842.
Hlasiwétz см. Pfaundler.
Hoppe-Seiler. Verhalten des Blutfarbstoffs im Sonnenspectrum. Chem. Zentr. 1862.
Die optischen und chemischen Eigenschaften des Blutfarbstoffs. —Chem. Zentr. 1864.
Medicinisch-chemische Untersuchungen, 1866.
Handbuch d. physiologisch. und path. chem. Analyse, Spectral-Analyse.—Virchoff & Holtzendorff Vorträge; 1868.
Ueber die Zersetzungsproducte des Hämoglobin.— Berichte Chem. Ges. zu Berlin, 1870.
Humboldt, A. Aphorismi &c.
Ingenhousz, I. Versuche mit Pflanzen (*aus dem Englischen*).— 1780.

Jodin. Sur les alterations des tissus végétaux sous l'action combinée de la lumière et de l'air.— Bullet. Soc. Chim. 1865, Id.— C. R. 1864.
* John. Chemische Schriften, *4*, *161*, *5*, *26*.
Knop. Berichte d. Königlich. Sächs. Gesellchaft d. Wissenschaften, 1869.
Kraus, G. Einige Beobachtungen über den Einfluss des Lichtes und der Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlorophyll.— Pringsheim's Jahrb. VII, 4.
Kromayer und Ludwig. Ueber Zerlegung des Chlorophylls in einen blauen und einen gelben Farbstoff.— Chem. Centr. 1861.
Луневский, Т. О хлорофилле.—Отд. оттиск из «Работ Физиолог. лаб. имп. Варш. унив.».
Macaire-Prinsed. Sur la coloration automnale des feuilles. Bibl. Univ. 1828.
* Marquart (Clamor). Die Farben der Blüthen. — Bonn, 1835.
Micheli, M. Sur la Chlorophylle. — Arch. d. Sc. Phys. et Nat. 1867.
Melde. Ueber die Absorbtion des Lichts durch gefärbte Flüssigkeiten.— Pogg. Ann. CXXIV, CXXVI.
Millardet. Sur le pigment des Floridées.— Ann. Sc. Nat, 1869.
Mohl (Hugo). Vermischte Schriften.
Morot, F. S. Recherches sur la coloration des végétaux.— Paris, 1850.
Morren, Ch. Dissertation sur les feuilles vertes et colorées.—Gand. 1858. В извлечении Arch. d. Sc. Ph. et Nat. V.
Müller, N. I. C. Notiz über die Farbstoffe im Chlorophyll.— Pringsheim's Jahrb. 1869.
Mulder. Ueber das Chlorophyll.—Ann. Ch. u. Pharm. I, II.
Pelletier et Caventou. Sur la matière verte des feuilles.— Ann. Ch. et Phys. 1818.
Pfaundler. Notiz über das Chlorophyll.— Ann. Ch. u. Pharm. 1860.
Phipson. Sur la coloration des feuilles.— C. R. 1858.
Preyer. Quantitative Bestimmung des Farbstoffs im Blute durch das Spectrum.— Ann. d. Ch. u. Pharm. 1866; Reichert's Arch. 1868.
Priestley. J. Experiments and observations on different kinds of air.—London, 1775.
Experiments and observations relating to various branches of natural philosophy, with a continuation of the observations on air.— 1779.
* Proust. — Gehlen. Allg. Journ d. Chem. 1803.

* Сочинения, означенные звездочкой, известны мне только по ссылкам других авторов.

Risler. — Arch. des Sc. Ph. et Nat., VI.
Risse.— Sachs. Handb. d. Exp. Phys.
Sachs, J. Ueber das Vorhandensein eines farblosen Chlorophyllchromogens in Pflanzentheilen welche fähig sind grun zu werden.— Chem. Zentralbl. 1859.
Ueber die Durchleuchtung der Pflanzentheile. — Sitzungsberichte d. K. K. Akad. Wien, 1860.
Salm-Horstmar. Substanz der grünen Infusorien.—Pogg. Ann. XCIII, IV, V, VII.
Schönn. Ueber Blattgrün und Blumenblau.— Fres. Zeitschrift. f. Analyt. Ch. 1870.
* Schubler und Frank. Untersuchungen über die Blüthenfarben.— Tubingen, 1825.
Schultze, F. Lehrbuch d. Chemie f. Landwirthe. — 1853.
Senebier, J. Mémoires Physico-Chimiques.— Genève. 1782.
Simmler. Vermischte Mittheilungen &c.— Pogg. Ann. 1862.
Sommerville, miss. On the action of light on vegetable colours.— Phil. Trans. 1843.
Sorby. On a definite method of qualitative analysis of animal and vegetable colouring matters by means of the spectrum-microscope. — Proceed. Roy. Soc. 1867.
Stokes. G. G. On the change of refrangebility of light. Trans. 1852.
On the supposed identity of Biliverdine and Chlorophyll.— Phil. Mag. 1864.
On the application of optical properties of bodies to the detection and discrimination of organic substances.— Journ. Chem. Soc. 1864.
On the discrimination of organic bodies by their optical properties.— Phil. Mag. 1864.
On the reduction and oxidation of the colouring matter of the blood.— Proceed. Roy. Soc. XIII, 1864.
* Tischborn. (Спектр хлорофилла). Laboratory, I, 192.
Trecul. Chlorophylle cristallisée.— C. R. 1865.
Valentiu. Gebrauch des Spectroscops &c.—1863.
* Vauquelin. Ann. de Ch. Ph. 83.
Verdeil, Sur la matière colorante des feuilles.—C. R. 1851.
Weiss. Ueber die Aenderungen, welche die Lage der Linien im Spectrum des sogenannten Salpetergases erfahren &c.— Pogg. Ann. 1861.

ОБ УСВОЕНИИ СВЕТА РАСТЕНИЕМ

РАССУЖДЕНИЕ,
ПРЕДСТАВЛЕННОЕ В ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ИМПЕРАТОРСКОГО С. ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ДОКТОРА БОТАНИКИ

К. А. ТИМИРЯЗЕВЫМ

1. КРИТИКА И МЕТОД

1875

J'aime voir les corpuscules de la lumière, se combiner dans les corps, & j'aime à croire qu'ils frapperont de nouveau nos yeux dans la flamme des matières combustibles; il me semble lui voir former les resines avec lesquelles elle a tant d'affinité, les matières huileuses pleines de sa chaleur & de sa clarté, la partie spiritueuse des graines & des fruits, saturée de ses feux... Enfin le phlogistique, que la lumière formeroit dans les végétaux, ne serait il pas la source de celui qui circuleroit dans les autres règnes?

Senebier. Mémoires physicochimiques, III. 1783.[3]

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe Chemischer Differenz erzeugen.

Diese Organismen sind die *Pflanzen*. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschikt niedergelegt werden.

J. R. Mayer. Die Mechanik der Wärme, S. 53.[4]

Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den Pflanzen erzeugt und aufgehäuft werden, und wir können als sehr wahrscheinlich vermuthen, dass das erstere der Grund des zweiten ist. Allerdings, muss ich bemerken, besitzen wir noch keine Versuche, aus denen sich bestimmen liesse, ob die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen auch dem während derselben Zeit angehäuften Chemischen Kraftvorräthe entspricht, und so lange diese fehlen, können wir die angegebene Beziehung noch nicht als Gewissheit betrachten.

Wenn sich diese Ansicht bestätigt, so ergiebt sich daraus für uns das schmeichelhafte Resultat, dass alle Kraft vermöge deren unser Korper lebt und sich bewegt, ihren Ursprung direct aus dem reinsten Sonnenlichte herzieht...

H. Helmholtz. Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte. S. 127. 1854.[5]



1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Настоящее исследование представляет часть обширного труда, задуманного и начатого мною восемь лет тому назад, постоянно с тех пор меня занимавшего и, по всей вероятности, потребующего еще многие годы для приведения его к удовлетворительному окончанию. Оно касается вопроса, получившего в последние годы значительное развитие и, в то же время, одного из наиболее спорных в современной физиологии. На этом основании, я считаю полезным предпослать критической части моего труда краткий очерк исторического хода дела за последние годы. Я считаю это даже необходимым для себя лично, для того, чтобы на первых же порах выяснить мое положение относительно других исследователей. [1]

Я разумею под *усвоением света* то превращение лучистой энергии солнца в энергию потенциальную, в запас работы, которое совершается в растении, когда в нем происходит усвоение углерода (и водорода), т. е. разложение углекислоты (и воды) и последующий синтез органического вещества. Только ту долю всей получаемой растением лучистой энергии, которая

---

[1] Считаю это необходимым с точки зрения самозащиты. Читателям, знакомым с немецкой литературой предмета, конечно, известно, что благодаря неразборчивости в средствах, к которым прибегли мои противники, благодаря отсутствию разумной критики и поклонению сомнительным авторитетам, мое имя играло в этом вопросе незавидную роль,— насколько справедливо, предоставляю судить читателю по прочтении этого труда.

затрачивается на этот процесс и таким образом слагается, накопляется в форме химического напряжения, я называю усвоенною. Таким образом, из этого понятия исключается та доля получаемой энергии, которая не задерживается растением, но или проходит, не поглощаясь, или отражается как от поверхностей, так и в явлениях флуоресценции, или же, наконец, хотя и поглощается растением, но истрачивается на повышение его температуры, на испарение воды и т. п.

На изучение этого отношения растения к солнечному свету, на изучение ближайших условий этого явления в последнее время, как уже сказано, обращено большое внимание. Не таково было положение дела в 1868 году, когда я приступил к изучению этого вопроса. В то время никакого вопроса, можно сказать, и не существовало; в науке безраздельно господствовало убеждение, основанное на опытах Дрепера — именно, что действие света в этом процессе пропорционально его действию на глаз, т. е. его световому напряжению. Это странное совпадение, которое Дрепер пытался объяснить при помощи связующей гипотезы, физиологи, и во главе их Сакс, принимали голословно, как догмат. В течение почти четверти столетия после опытов Дрепера не было сделано ни одного шага к разъяснению этого любопытного явления, так как вся деятельность Сакса, которому обыкновенно приписывается выдающаяся роль в истории этого вопроса, ограничилась ненужным повторением опытов Добени и Дрепера в менее точной форме. С точки зрения употребленного метода эта работа была положительным шагом назад. Против этого обратного хода науки я и восстал, указывая на те новые экспериментальные средства, которые наука приобрела в новом методе исследования, который Буссенго предложил незадолго перед тем. Предлагая в 1868 году простой и удобный прием исследования этого явления, я в то же время указал на тот высокий интерес, который приобретает изучение процесса усвоения углерода при рассматривании его с физической точки зрения, с точки зрения закона сохранения

энергии, и в следующих выражениях наметил будущий путь исследования:

«Согласно с расширением воззрений, господствующих в науке, изменяется и задача исследователя. На основании всего сказанного, наука при исследовании занимающего нас явления не может в настоящее время довольствоваться одним количественным определением превращающихся при этом процессе веществ, — она должна стремиться к столь же строгому учету тех сил, которые участвуют в этом явлении.

«Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, *проследить их участь в растении до их уничтожения, т. е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой* — вот та светлая, хотя может быть отдаленная задача, к достижению которой должны быть дружно направлены все силы физиологов».

Летом того же года 1868 я сделал попытку применения предложенных мною приемов к рассматриваемому вопросу, т. е. к определению относительного значения различных лучей спектра в этом процессе. Результатом этого исследования было краткое предварительное сообщение, помещенное в Botanische Zeitung в январе 1869 года. [1] Печатая это краткое исследование, я имел в виду троякую цель: 1) показать, что убеждение в одинаковом действии света на глаз и на растение, нелогичное само в себе, опирается только на отсутствие критической оценки методов, употребленных Дрепером, и потому, в сущности,

---

[1] Так как оно никогда не было мною напечатано на русским языке, то я счел полезным привести его ниже сполна, для того, чтобы устранить неверные о нем суждения и навязываемые мне мнения, а также и в доказательство того, что вопреки моим критикам я не имею основания отказаться хотя бы от одного слова.

лишено основания; 2) предложить, взамен начинавшего распространяться, так называемого, метода Сакса, другой, точный и, в то же время, простой и удобный; 3) показать, что полученные мною результаты не согласны с результатами Дрепера и что потому вопрос можно считать открытым. Кривая, которою я выразил результаты своего опыта, не представляла maximum'а в желтой части, а постепенно повышалась в красной части и следовательно, в пределах видимого спектра, в пределах опыта, представляла совпадение с тепловой кривой. В этой работе я остановился на приеме уединения отдельных частей спектра, посредством пропускания света чрез цветные жидкости, предварительно тщательно исследованные спектроскопом. Этот, сравнительно легкий, прием был достаточно точен для проверки результатов Дрепера, но я там же выразил убеждение, что точных результатов можно ожидать только от опытов, произведенных непосредственно в спектре, и высказал надежду, что мне удастся осуществить этот опыт, избежав в то же время ошибок Дрепера.

Эта предварительная работа, убедив меня в несостоятельности господствующего мнения, между прочим, привела меня к заключению о необходимости ближайшего изучения хлорофилла, этого вещества, играющего несомненную роль в процессе усвоения углерода. Результатом этого было довольно обширное и поглотившее не мало времени спектральное исследование хлорофилла. [1]

---

[1] Спектральный анализ хлорофилла. СПб. 1871. Это исследование было мною предпринято в 1869 году, после того как Микели в своем исследовании, сделанном под руководством Сакса, объявил, что спектроскоп не может принести в этом деле услуги. Последствия не оправдали этого предсказания. Уже после выхода моей работы спектральное исследование хлорофилла сделалось модной темой; возникла целая литература по этому предмету, но пока еще все эти исследования не только не изменили, но и существенно не пополнили моих результатов относительно состава этого вещества.

Полученные мною графические изображения закона поглощения света хлорофиллом ясно обнаружили сходство между кривой поглощения света и кривой, выражающей разложение углекислоты. [1] Проверить это соотношение уже нельзя было при помощи цветных жидкостей, и потому я, в бытность свою в Париже летом 1870 года, принялся приискивать способ экспериментирования непосредственно в спектре. Благодаря крайней любезности профессоров Дессена и Бертло, в августе 1870 года я был поставлен в возможность осуществить свои опыты, хотя с относительною степенью удобства, так как физическая часть исследования должна была производиться в Сорбонне, а анализ газов — в Collège de France. Но события 1870 года разрушили все мои ожидания; когда все было готово и можно было приступить к опытам, я должен был покинуть Париж.

Между тем моя немецкая статья не осталась без последствий. Хотя немецкая критика прошла ее молчанием,[2] но тем не менее она пробудила деятельность немецких физиологов. В 1871 году, в первой статье первого выпуска трудов ботанического института профессора Сакса, ученик его Пфеффер обрушился на меня критикой, занимающей почти столько же места, как и вся моя статья, и наполненной обвинениями не только в неверности результатов, но в грубом невежестве и даже в научной недобросовестности — в подделке цифр. Тон этих нападок был таков, что на них мог быть только один ответ — презрительное молчание. К тому же и причина этого озлобления была слишком понятна: доктор Пфеффер сполна воспользовался моими приемами исследования и для того старался выставить меня таким невеждой, у которого он, оче-

---

[1] Бертло, которому я показывал свои результаты в 1869 году, тотчас высказал эту мысль.

[2] Только Адольф Майер принял мои выводы и поместил мою таблицу в своем курсе агрономической химии.

видно, ничего не мог заимствовать. Таким образом, одна из предположенных мною целей была вполне достигнута; мои приемы исследования были приняты там, где это можно было всего менее ожидать, в лаборатории Сакса,[1] но, к сожалению, как увидим, не надолго. Зато другие две цели не были вовсе достигнуты. По краткости моей статьи, я не мог распространиться в ней о неточностях исследований Дрепера и ограничился ссылкой на источники, из сличения которых ошибка его становилась понятной; но этот намек пропал даром для доктора Пфеффера, и мы увидим, что в своей следующей работе он впал именно в ту ошибку, от которой я предостерегал. Результаты мои также возбудили ни на чем неоснованное сомнение, а сам доктор Пфеффер пришел к совершенно противоположному заключению, т. е. к подтверждению мнения Дрепера. Чем объясняется это разногласие в результатах его и моей работы, трудно решить; одно только несомненно, что в его работе не было недостатка в ошибках.

Таким образом, учение Дрепера вновь восторжествовало. Немецкая критика не замедлила провозгласить работу Пфеффера образцом точности, не замечая, или не желая заметить, что точное в ней было чужое, а свое было неточно. Из русских ботаников Бородин (по поводу перевода книги Майера) поспешил объявить себя в пользу Пфеффера и против меня, с довольно странной, впрочем, оговоркой — что считает мои приемы исследования более точными.

В начале того же 1871 года появилась статейка Ломмеля, в которой он высказывал мысль, что разложение углекислоты

[1] Правда, доктор Пфеффер приписывает эти приемы то себе, то Буссенго. Но Буссенго своих приемов нигде не описал, и, посещая его лекции, я впоследствии убедился, что они отличны от моих. След‹ вательно, д-ру Пфефферу приемы Буссенго неизвестны, а доказательством тому, что он руководствовался моей работой, служит тот факт, что во всех тех случаях, где мое описание не было достаточно подробно, он делал комические промахи. Таким образом, ему, по праву, принадлежат только его ошибки.

должно зависеть от поглощения света хлорофиллом (мысль уже прежде высказанную Жаменом), но что из тех лучей, которые поглощаются хлорофиллом, наиболее деятельны должны быть те, которые обладают наибольшей энергией, измеряемой их тепловым эффектом. На основании этих соображений, он, сомневаясь в точности результатов Пфеффера, пришел к заключению, что maximum разложения должен лежать в красной части спектра, т. е. именно там, где я его нашел (моя работа была ему тогда неизвестна). Вслед за первой, появилась вторая статья, в которой он ссылается на мои результаты, как на подтверждение его теории, но приписывает мне воззрение, которого я не высказывал, и окончательно формулирует свое мнение так: «Тимирязев высказал половину истины».

Между тем некоторые последователи воззрений Сакса и Пфеффера — Прильё и Баранецкий — сделали попытку развить ее до ее крайних логических выводов и тем еще более обнаружили ее несостоятельность. Против этого крайнего, но последовательного развития их теории, Пфеффер и Сакс почли долгом протестовать. Сакс очень пространно объяснил своим читателям давно известную истину, что свет есть понятие субъективное и что потому нет основания предполагать, чтобы найденная связь между влиянием света на глаз и на разложение была действительная, причинная; это по его мнению просто — *случайность.*

На этой теории *случайности* и успокоились. Но вскоре за статьей Ломмеля появилась работа Мюллера, вполне подтверждавшая его взгляды, а следовательно, и мои результаты. Мюллер, экспериментировавший в спектре, получил maximum разложения именно в тех красных лучах, которые соответствуют абсорбционной полосе хлорофилла. К сожалению, изложение его отличается неясностью и сбивчивостью, а о методе исследования ничего не говорится, так что читатель лишен необходимых данных для надлежащей оценки убедительности его результатов.

На этот раз возражение пришло не со стороны теории, а со стороны опыта. Весною следующего года, Пфеффер вновь принялся за работу и уже не при помощи цветных жидкостей, а, как Мюллер, в спектре. Но вместо анализа газов он вернулся к заветному способу счета пузырьков. Таким образом это исследование представляет редкий, по всей вероятности, в истории наук пример ученого, проверяющего результаты, полученные точным методом, посредством метода менее точного, апеллирующего от высшей инстанции к низшей. Результатом работы было блистательное подтверждение прежней работы автора, а следовательно, и теории Дрепера; но при чтении этой работы не знаешь, чему удивляться, непонятливости ли ее автора, если он сам себе верит, или презрительному мнению о читающей публике, если он думает обмануть ее своими софизмами. Пфеффер сделал в этой работе ту самую ошибку, на которую я указывал в работе Дрепера, от которой за три года пред тем предостерегал; не удивительно, что и результаты у него получились те же, что у Дрепера. В критической части предлагаемого исследования читатель найдет подробное разъяснение этой ошибки.

Таким образом, теория *случайности*, провозглашенная профессором Саксом, вновь восторжествовала; в третьем и четвертом изданиях своего руководства он высказал полное одобрение Пфефферу, признал его результаты безусловно верными, а о работе Мюллера отзывается с презрительною самоуверенностью: «Мюллер, правда, обставил это заключение (теорию Ломмеля), цифрами, *но тот, кто знает, как производятся подобные исследования, знает также, какое значение можно придавать цифрам Мюллера*». На это можно возразить, что профессор Сакс напрасно считает задачу Мюллера такою безнадежной—предлагаемое исследование служит тому опровержением — и вообще напрасно считает себя знатоком и судьей в подобных вопросах; никому не известно ни одной *точной* его работы в этом направлении, а если он этим намекает на свое участие

в работе Пфеффера, то читатель увидит ниже, что это участие приводит к обратному заключению, — именно, что ему неизвестно, как *должны производиться* подобные исследования. За Саксом последовали и другие критики. Работа Пфеффера перепечатана в четырех журналах и признана образцом точности и остроумия. Доказательством того, до какого полного отсутствия критики, до какого преклонения пред сомнительными авторитетами, или же до какого возмутительного духа партии дошла в этом вопросе [1] немецкая ботаническая литература, может служить следующий пример. В недавно вышедшем, первом ботаническом ежегоднике, некто Де Фризе, ученик Сакса, специальный референт по физической физиологии (следовательно, заявляющий себя специалистом-физиком, и значит признаваемый в этом качестве и другими), отказывается реферировать о работах Мюллера на том основании, что Пфеффер *окончательно доказал* (hat definitiv bewiesen) противное.

Эту-то *окончательно доказанную* теорию имеется в виду опровергнуть в настоящем исследовании.

Как в первой работе, так и в настоящей, я имею троякую цель:

1) Доказать ошибочность работ Дрепера и Пфеффера.

2) Доказать, вопреки только-что приведенному мнению Сакса, возможность *точного* исследования явления непосредственно в спектре, и для этого предложить новые, более чувствительные приемы анализа газов.

3) Доказать, посредством полученных результатов, согласных с моими прежними и результатами Мюллера, несостоятельность теории *случайности*, провозглашенной профессором Саксом.

Таким образом эта работа, как можно надеяться, вновь вернет исследование на точный путь, с которого оно вторично совращено Саксом и *его школой*. Наконец, в заключительной

[1] И не в нем одном, а во многом, что касается Сакса и его школы.

главе разобраны критически возможные в настоящее время теоретические объяснения этого явления и тем указан путь дальнейшего исследования.[1]

[1] Может показаться странным, что я с 1870 года до сих пор не возобновил этих исследований. На это я могу представить следующие объяснения. Во-первых, я постоянно усовершенствовал приемы исследования и теперь мною употребляемые значительно отличаются от тех, которые я предполагал употребить в Париже, в 1870 году. Сверх того, подобные опыты требуют значительной материальной обстановки, устройства особого помещения и приобретения ценных приборов (гелиостата, газового прибора Дойера и пр.), которые пришлось, сверх того, заказывать и ждать годами. Первые результаты получены мною летом 1873 и сообщены осенью того же года в Русском химическом обществе и весною 1874 на съезде ботаников, во Флоренции.



2. КРИТИКА ПРЕДШЕСТВОВАВШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ[1]

Критика предшествовавших исследований. — Воззрения Сенебье, Майера и др.— Исследования Дрепера, Кальте и др.—Первая работа автора.—Ответ на критику Пфеффера. — Разбор работы Пфеффера. — Теория Прильё и суждение о ней Сакса. Воззрение Сакса. — Статьи Ломмеля и работа Мюллера. — Вторая работа Пфеффера и мнение о ней Сакса.— Заключение.

Jene Strahlen sind es zufällig auch, welche auf unsere Retina den lebhaftesten Lichteindruck hervorbringen; ich sage zufällig, denn es läst sich kein causaler Zusammenhang dafür denken, dass die leuchtenden Strahlen in dem Masse, wie sie uns den Eindruck der grösseren oder geringeren Helligkeit machen, auch mehr oder weniger auf die Sauerstoffausscheidung der Pflanze einwirken.

Sachs, Arbeiten, II H., p. 284.[6]

Wäre es nun möglich.... so hätte man wirklich ein Art Naturgesetz, dem freilich jede causale Beziehung fehlt, welches daher wie ein unerklärtes Wunder dastehen würde. So schlimm ist es jedoch nicht.

Sachs, Lehrbuch, p. 205.[7]

Усвоение углерода (и водорода) растением существенно отличается от усвоения других веществ тем, что оно может быть рассматриваемо с двух точек зрения: статико-химической,

---

[1] Сакс, а за ним и Пфеффер, в некоторых своих работах, пытались было ввести новый прием — излагать литературу после собственных исследований. Этот прием невольно оставляет в читателе более выгодное впе-

как процесс превращения вещества, и с физической или динамической, как процесс превращения лучистой энергии солнца в запас работы—в химическое напряжение. Усвоение углерода (и водорода) сопровождается в то же время усвоением света.

Эти два воззрения возникли, или вернее выработались, в науке не одновременно, а на расстоянии почти столетия.

Первое из них, т. е. вопрос о происхождении углерода или органического вещества растения, понятно, мог быть верно поставлен только тогда, когда был экспериментально доказан закон вечности вещества, прежде сознаваемый как метафизическая истина, и когда были открыты химические элементы. Он был выяснен в общих чертах в последние десятилетия прошлого столетия; ближайшее же разъяснение его, т. е. разъяснение самого процесса, синтеза органического вещества принадлежит будущему.[1]

Второй вопрос, касающийся динамической стороны явления, т. е. происходящего при этом превращения энергии, очевидно мог возникнуть только тогда, когда возникло учение о сохранении энергии, и в настоящее время находится в периоде экспериментальной обработки. Но справедливость требует сказать, что основная мысль этого учения, по крайней мере по отношению к занимающему нас вопросу, была предугадана с замечательной проницательностью последователями учения, перешедшего в историю с далеко не лестной славой,[2] —

чатление об авторе, в ущерб его предшественникам. Но мне кажется, что в области мысли должно делать такое же строгое различие между моим и твоим, как и в других областях, и потому я не следую этому примеру. Считаю также нужным заметить, что здесь имеется в виду только критическая оценка позднейших работ, имевших влияние на развитие вопроса, а не полный перечень всего, что было сделано по этому предмету,— подобные перечни читатель может найти в статьях Сакса и Пфеффера.

[1] Можно надеяться, что новейшие работы А. и П. Тенаров прольют новый свет на эту сторону явления.

[2] Впрочем, в последнее время, кажется, обнаруживается стремление отдать должную справедливость этому учению.

учения, которого слабость, можно сказать, заключалась в его силе, которое оказалось несостоятельным только потому, что пыталось охватить в одном взгляде слишком обширную область явлений. Я разумею учение о флогистоне: его неудача зависела главным образом оттого, что оно не делало укоренившегося впоследствии различия между химическими и физическими явлениями, благодаря которому химия, ограничив, сузив на время свою задачу, сделала громадные успехи, дозволившие ей теперь вновь вернуться к более широкой задаче, к слиянию с физикой. Последователи этого учения пытались в свои представления о явлениях, в свои химические уравнения, ввести и вещество и силу, и это было тем более понятно, что современная наука верила в материальность физических деятелей. Таким образом, поборники учения о флогистоне в своих воззрениях на рассматриваемый нами процесс стояли ближе к нам, смотрели на дело с более широкой точки зрения, чем писатели промежуточного времени, и только недостаток фактических сведений помешал им придать своим воззрениям должную определенность. Но не следует забывать, что если легко создавать теории, когда наука вошла в такой период развития, когда их можно уже формулировать цифрами, то каково же создавать теории, когда их едва можно выразить словами. С подобной точки зрения можно только удивляться проницательности некоторых писателей конца прошлого столетия, отцов нашей науки, в воззрениях которых нельзя не узнать мыслей, получивших определенность и ясность только в половине настоящего столетия. Стоит только сделать подстановку некоторых слов и выражений, и в приведенных в виде эпиграфа в начале этого сочинения словах Сенебье мы несомненно увидим ту же мысль, которая так блистательно впоследствии высказана Майером и др.[1]

[1] Та же мысль проглядывает во многих местах сочинения Сенебье, как напр., «il (le phlogistique) me parcit une lumière eteinte, mais prête à s'allumer».[8]

Как бы то ни было, но с должною ясностью учение о значении света в этом процессе было высказано в середине сороковых годов настоящего столетия.

Роберт Майер, Гельмгольц и, одновременно с ними и почти в таких же определенных выражениях, Дрепер высказали мысль, что при этом процессе совершается прямое превращение, накопление солнечной энергии. То, что прежде объясняли непонятным влиянием, теперь объяснялось прямым поглощением, затратой силы. Между тем как прежде можно было приписывать выдающуюся роль в этом процессе растению, с точки зрения сохранения энергии, главное значение в этом процессе получал внешний источник силы — солнце. Стало ясно, что как ни один атом углерода не создан растением, а проник в него извне, так и каждая единица тепла, представляемая органическим веществом растения, произошла из внешнего источника силы. Значительный свет на ясное понимание этого процесса пролило открытие явлений диссоциации. Между тем как прежде реакция разложения таких прочных соединений как CO_2 и H_2O не могла быть осуществлена иначе, как при содействии третьего тела, обладающего бо́льшим сродством к кислороду, явления диссоциации обнаружили возможность подобного разложения при одном только действии физических деятелей, именно тепла. Около того же времени Бертло высказал мысль, что реакции подобные синтезу органических веществ в растении должны сопровождаться поглощением тепла, следовательно, не только разложение воды и углекислоты, но и вторая стадия явления, т. е. образования из продуктов разложения органического вещества, требует внешнего источника силы.

Таким образом, исходя из двух основных начал, что усвоение углерода — реакция эндотермическая, и что единственный источник потребной на то силы — лучистая энергия солнца, любопытно было проследить ближе эту связь между действующей силой и производимой работой.

Приступая к изучению этого явления, прежде всего предстоит разрешить вопрос, какие лучи солнечного спектра действуют наиболее энергично. Естественнее всего было предположить, что это явление будет зависеть от энергии луча, от его живой силы, измеряемой его тепловым эффектом, что подобно тому, как диссоциация угольного ангидрида происходит энергичнее при высокой температуре, чем при низкой, и разложение ее в растении будет вызываться преимущественно лучами, которые обладают большим тепловым напряжением.[1] Но подобное мнение находилось в прямом противоречии с господствовавшим убеждением ботаников.

Если между энергией луча и разложением угольного ангидрида в растении существует прямое отношение, то в солнечном спектре разложение должно происходить наиболее энергично в тех лучах, которые оказывают наибольшее действие на термометр, т. е. в красных, и за ними. Между тем в науке господствовало убеждение, что всего сильнее действуют желтые лучи, т. е. лучи наиболее светлые, и это воззрение даже формулировалось таким образом, что действие света на этот процесс сходно с его действием на глаз.

Дрепер, первый высказавший (на основании своих опытов) это мнение, пытался объяснить странное, непонятное совпадение между объективным действием света на химический процесс и субъективным его действием на глаз, при помощи следующей гипотезы. Самый акт зрения, по его мнению, не что иное, как химическое явление, превращение органического, а следовательно углерод содержащего вещества сетчатой оболочки глаза. Если допустить, что соединения одного и того же элемента разлагаются одинаковыми лучами, то это соотноше-

[1] Сходство разложения угольного ангидрида в растении с явлением диссоциации увеличивается еще тем обстоятельством, что первое, подобно последнему, возрастает с увеличением температуры и уменьшением парциального давления. Это воззрение на сходство обоих явлений развито мною в моем исследовании над хлорофиллом.

ние между разложением углекислоты и актом зрения будет понятно. Если б, говорит Дрепер, наша сетчатая оболочка состояла из хлористого серебра, то самыми светлыми лучами оказались бы не желтые, а фиолетовые и так называемые темные, химические. Несостоятельность этой гипотезы, кроме произвольности толкования самой сущности акта зрения, доказывается тем, что различные органические вещества, напр. пигменты, изменяются под влиянием различных лучей, следовательно, подобная связь между известными лучами и химическими элементами соединения не оправдывается.

Эта гипотеза была, тем не менее, удовлетворительной, для своего времени, попыткой на установление рациональной связи между двумя разнородными явлениями. Последователи Дрепера, преимущественно немецкие ботаники, не знакомые с подлинными трудами Дрепера, приняли его теорию как догмат и в такой форме, без всякой критики, повторяли ее в течение почти четверти столетия. [1]

Для всякого мыслящего человека представлялось два исхода: или найти рациональное связующее звено между двумя, повидимому, не имеющими ничего общего фактами, или опровергнуть самое существование этой связи. Последнее мне казалось более вероятным. Теоретические соображения говорили в пользу другой связи — связи между живой силой луча (его тепловым

[1] К сожалению, замечательное по богатству мыслей сочинение Дрепера «On the forces which produce the organisation of plants» почти неизвестно ботанической публике, судя по тому, что Пфеффер, считающий, как он выражается, своим долгом познакомить немецкую публику с трудами этого ученого, сам знаком только с переводными из них извлечениями. Правда, Пфеффер сознает за собою преимущество в этом отношении пред своим учителем Саксом, который при составлении своих критических статей не имел перед собою даже этих переводов, а следовательно, получал свои сведения о работах Дрепера из третьих, четвертых рук. Впрочем, преимущество Пфеффера перед Саксом не так велико, как он полагает, так как Дрепер в предисловии своей книги просит не доверять этим переводам, часто извращающим его мысли.

напряжением) и его значением в этом процессе. С другой стороны, внимательная критика опытов Дрепера и других исследователей убедила меня в малой их доказательности, т. е. привела к заключению, что убеждение о преобладающем действии желтых лучей лишено фактического основания.

Рассмотрим ближе употребляемые при подобных опытах приемы исследования. Для разрешения вопроса, какие лучи солнечного спектра действуют наиболее благоприятно в процессе разложения углекислоты, можно поступить двояким образом. Можно уединять известные пучки лучей, пропуская свет через цветные среды (стекло, жидкости, пленки желатины), и заставлять их действовать на одинаковые поверхности зеленых органов. Этот прием можно назвать способом экранов. Или можно подвергать зеленые органы, одинаковой поверхности, непосредственному действию различных частей спектра. Первый способ более удобен, потому что при нем свет мало ослаблен, но вообще менее точен и в особенности не пригоден для ближайшего определения группы лучей наиболее деятельных. Второй дозволяет точнее определить положение maximum'а явления, но представляет затруднения, вследствие значительного ослабления света.

Добени в 1835 году употребил первый способ и при его помощи мог показать, что так называемые химические лучи оказывают весьма слабое действие, между тем как лучи, прошедшие через желтый раствор, почти не оказывающие действия на серебряные препараты, действуют почти так же энергично, как полный белый свет.[1]

Те же результаты и тем же путем получил и Дрепер. Но сверх того, Дрепер (в двух исследованиях, помещенных в Philosophical Magasine за 1843 и 1844 года и в его сочинении

[1] Исследование Добени не дозволяет сделать никакого определенного заключения об относительном значении красных и желтых лучей. Один из интересных, по отношению к занимающему нас вопросу, результатов заключается в том, что зеленые лучи оказывали менее действия, чем синие.

«On the forces which produce the organisation of plants») сделал еще три опыта, непосредственно в спектре, и на основании этих опытов пришел к известному нам уже заключению.

Посмотрим, имел ли он право делать такое заключение.

Опыт производился таким образом. Ряд трубок, наполненных водою, насыщенною углекислотой, и содержавших примерно равное количество листьев (злаков или хвойных), предварительно выдержанных в этой воде, в темноте, от 2-х до 4-х дней (для удаления с их поверхности пузырьков воздуха) выставлялся часа на полтора в солнечный спектр. По окончании опыта, выделившийся газ измерялся, а в последнем опыте был подвергнут анализу. Для того чтоб убедиться, что количество зеленых органов в каждой трубке было приблизительно равно, после опыта производилась поверка — все приборы выставлялись непосредственно на солнечный свет, причем давали не вполне, а приблизительно равные количества газа.

Всего произведено три опыта; во всех трех наибольшее количество газа выделилось в желтой части спектра, ближе к зеленой, как это можно видеть из приводимых цифр.

ЧАСТЬ СПЕКТРА	I Количество газа	II Количество газа
Крайняя красная	0,33	0,0
Красная и оранжевая	20,0	24,75
Желтая и зеленая	36,0	43,75
Зеленая и голубая	0,1	4,10
Голубая	0,0	1,00
Синяя	0,0	0,0
Фиолетовая	0,0	0,0

	III Количество газа	Состав
Крайняя кр. и кр.	0,0	
Оранжевая желтая	19,8	O.40,4 N.59,6
Желтая и зеленая	27,4	O.45,6 N.54,4
Голубая	0,0	
Синяя и фиолетовая	0,0	

Анализ произведен только в последнем опыте и дал результаты, трудно объяснимые — вместо кислорода, с примесью углекислоты, как можно было ожидать, он состоял более чем наполовину из азота, а углекислоты вовсе не оказалось. Дрепер объяснял этот непонятный факт появления таких больших количеств азота тем, что листья, пробыв предварительно 2 дня в воде, в темноте уже *начали разлагаться*. Вообще можно сказать, что химическая часть опыта далеко неудовлетворительна. То же, с еще большею справедливостью, можно сказать о физической стороне опыта. Для того, чтобы иметь достаточно яркий спектр, Дрепер получал его при помощи луча, прошедшего чрез *отверстие* в ставне *в три четверти дюйма в диаметре*.[1] Понятно, что полученное при таких условиях цветное изображение почти нельзя назвать спектром; оно образовалось чрез налегание множества спектров, накрывающих один другой в средней части и производящих там почти белый свет. Понятно, что различные части не могут быть между собою сравниваемы, так как только края представляют однородный, монохроматический свет, средняя же занята смесью лучей — и эффект суммы этих лучей очевидно должен превосходить эффект однородных лучей. Меллони, в особенности, убедительно выяснил значение этого обстоятельства, т. е. влияние ширины щели на чистоту спектра. Он показал, что с увеличением ширины щели maximum теплоты, находящейся в темных лучах, передвигается по направлению к видимому спектру и, наконец, может совпадать с красными, желтыми и даже зелеными лучами. Это перемещение maximum'а еще заметнее, если самое вещество призмы (флинт-глас у Дрепера) поглощает темные лучи, а тем более, если свет будет пропущен чрез слой воды, а у Дрепера свет, прежде чем достигнуть листа, проходил слой воды в $^1/_4$ дюйма (диаметр трубок $= ^1/_2$ дюйма).

[1] Повидимому, употребление узкой щели вместо круглого отверстия (введенное, если не ошибаюсь, Вульстеном), не было еще в то время в общем употреблении

Этих соображений было достаточно, чтобы оправдать сделанное мною заключение, что в спектре Дрепера оба maximum'а, тепловой и световой, могли совпадать. Но если подобное совпадение существовало, то очевидно, что на основании таких опытов не было возможности заключить, какое напряжение, световое или тепловое, играло здесь роль.[1] Да и вообще, эти опыты не могли указать, какие лучи играли преобладающую роль, так как в одной части спектра действовали однородные лучи, а в другой смесь разнородных. Другими словами, опыты Дрепера не доказывали того, что он пытался доказать, а следовательно, и опиравшееся на них и господствовавшее в течение 25 лет учение было лишено основания.

То же справедливо и относительно позднейших исследований каковы, напр., опыты Клоеза и Грасьоле и Кальте. Эти исследователи собственно не задавали себе вопроса, какие лучи действуют наиболее энергично, а довольствовались заявлением факта, что лучи, прошедшие чрез одну какую-нибудь цветную среду, действуют энергичнее, чем лучи, прошедшие чрез другую среду. Так, напр., их опыты приводят к заключению, что под желтым стеклом разлагается более углекислоты, чем под красным, но это, очевидно, не разъясняет вопроса об относительном значении желтых и красных лучей, потому что желтая среда пропускает не только желтые, но и красные и оранжевые лучи. Таким образом, свет, прошедший чрез желтую среду, действует суммой тех и других лучей и действие его не может быть прямо сравниваемо с действием красного света. Но если в опытах Кальте (дающих более определенные результаты) из количества углекислоты, разложенной под желтым колпа-

[1] Как ярок, а следовательно и как *нечист* был спектр Дрепера, можно заключить из того, что этот ученый уже в $1\frac{1}{2}$ часа получал ясные результаты, между тем, как мы увидим, к каким чувствительным приемам исследования нужно прибегать, чтобы обнаружить 6—8-часовое действие спектра чистого.

ком, вычесть количество ее, разложенное под красным, то разность представит количество, разложенное собственно желтым (и соседними с ним) лучами. Эта величина оказывается менее той, которая соответствует красным лучам. Следовательно, если на основании этих опытов можно сделать какой-нибудь вывод, то разве только тот, что действие красных лучей более энергично, чем действие желтых. Значит эти опыты говорят скорее против, чем за теорию Дрепера.

Опыты Сакса нисколько не подвинули вопроса, так как они только подтверждали факт, уже доказанный Добени и Дрепером, именно, что синие лучи оказывают очень слабое действие. К тому же опыты Сакса представляют не только бесплодное повторение известного, но даже шаг назад с точки зрения употребляемых им приемов исследования. А между тем в то время Буссенго, в своих работах, предложил новый прием исследования над отдельными листьями или кусками листьев, в газе, а не в воде. В своих сообщениях Парижской академии он не описал самых приемов исследования. Занимаясь летом 1867 года изучением этого явления, я употребил некоторые, весьма простые и удобные приемы, которые и описал в сообщении, сделанном на первом съезде естествоиспытателей в С.-Петербурге.

Таково было положение дела, когда я предпринял свое первое исследование, которое и привожу здесь сполна, так как, отвечая на нападки моих критиков, я должен буду на него ссылаться.

«Мы можем судить о напряжении какой-нибудь силы, только измеряя ее действие. Действие солнечных лучей обнаруживается главным образом в проявлениях троякого рода: они нагревают тела; они светят, т. е. раздражают сетчатую оболочку глаза; они вызывают некоторые химические процессы, как напр., восстановление серебряных солей. Хотя невозможно вполне разделить эти три проявления луча, но их легко

различать вследствие их неодинакового распределения в призматическом спектре.

Весьма естественно, что один из первых вопросов, который пытались разъяснить, предприняв опыты над влиянием света на процесс разложения углекислоты, был следующий: которому из этих трех проявлений света пропорционален изучаемый процесс, т. е. другими словами, действует ли солнечный луч, как источник тепла, света или химической силы.

Уже Добени и Дрепер показали, что этот процесс не пропорционален химическому действию света, а последний считал также доказанным, что процесс этот не пропорционален и тепловому напряжению лучей, так как maximum разложения найден им в желтых, а не в красных лучах или за ними. Но если подвергнуть более строгой критике употребленный им метод, то не трудно убедиться, что употребленные им приемы были таковы, что оба maximum'а могли совпадать.[1]

Дальнейшие исследования Клоеза и Грасьоле и Кальте мало содействовали разъяснению вопроса об относительном значении желтых, красных и вне-красных лучей в этом процессе. Эти исследователи помещали зеленые растительные органы под колпаками из цветного стекла и нашли, что под желтым стеклом разлагается более углекислоты, чем под красным. Но приводимые ими цифры не дают нам никакого верного представления о действии желтых лучей в сравнении с красными, потому что прошедший чрез желтое стекло свет представляет смесь красных, оранжевых, желтых и зеленых лучей. Но если разность между действием желтого и красного стекла

[1] Я нахожу неудобным вдаваться в подобном коротком сообщении в критическую оценку относящейся сюда литературы и надеюсь привести ее в непродолжительном времени. Для подтверждения же только что высказанного мнения смотри *Draper*: A treatise on the forces which produce the organisation of plants. Appendix, ch. XV, p. 17, и *Melloni*: Essai d'une analyse calorifique du spectre solaire (Bibliothèque Universelle, t. LIX, p. 141).

мы припишем желтым и зеленым лучам, то их действие окажется более слабым, чем действие красных лучей. Но этот результат может быть объяснен двояким образом: возможно, что красные лучи оказывают наибольшее действие в этом процессе, но возможно, и то, что употребленное красное стекло пропускало часть оранжевых и даже желтых лучей. [1] Кальте считал также доказанным, что темные тепловые лучи не оказывают никакого действия, потому что свет, прошедший через раствор иода в сернистом углероде, не оказал никакого разлагающего действия. Но следует заметить, что этот раствор пропускает темные лучи без поглощения только тогда, когда он заключен в сосуды из каменной соли и когда слой не слишком толст. [2]

Отсюда вытекает очевидное заключение, что для разрешения поставленного вопроса безусловно необходимо употреблять только тщательно исследованные, посредством спектроскопа, цветные среды, чтобы получить уверенность, что имеешь дело, с одной стороны, с красными, с другой — с оранжевыми, желтыми и зелеными лучами.

Я выбрал способ цветных жидкостей, потому что он очень прост и удобен, и дает приблизительно верные результаты. [3] Я также предпочел жидкости цветным стеклам, потому что их можно по желанию приготовить для требуемой части спектра. Что касается химической стороны дела, анализа газов, то я в общих чертах придерживался превосходного метода Буссенго,

---

[1] Приводимые Клоезом количества углекислоты, разложенной под синим стеклом, также очень велики, по всей вероятности потому, что он употреблял обыкновенное кобальтовое стекло, пропускающее, кроме синих, и красные лучи.

[2] Из опытов Кальте обнаруживается еще удивительный результат, что зеленые лучи оказывают даже вредное действие, так как под ними увеличивается выделение углекислоты.

[3] Если желать избегнуть ошибки Дрепера, то его способ представляет значительные трудности, тем не менее я не теряю надежды их преодолеть и проверить полученные мною результаты посредством этого прямого метода.

употребленного им в его исследованиях «Sur la fonction des feuilles». [1]

Три олеандровых листа, с определенною поверхностью, помещались в градуированные и калиброванные стеклянные трубки, замкнутые ртутью. На каждую трубку надвигался при помощи пропитанной парафином пробки стеклянный цилиндр; кольцеобразный промежуток между двух трубок в 1 сантиметр шириною наполнялся цветным раствором. Эти растворы были предварительно подвергнуты спектральному исследованию в непосредственном солнечном свете в сосудах с параллельными стенками и с толщиною слоя в 1 см.

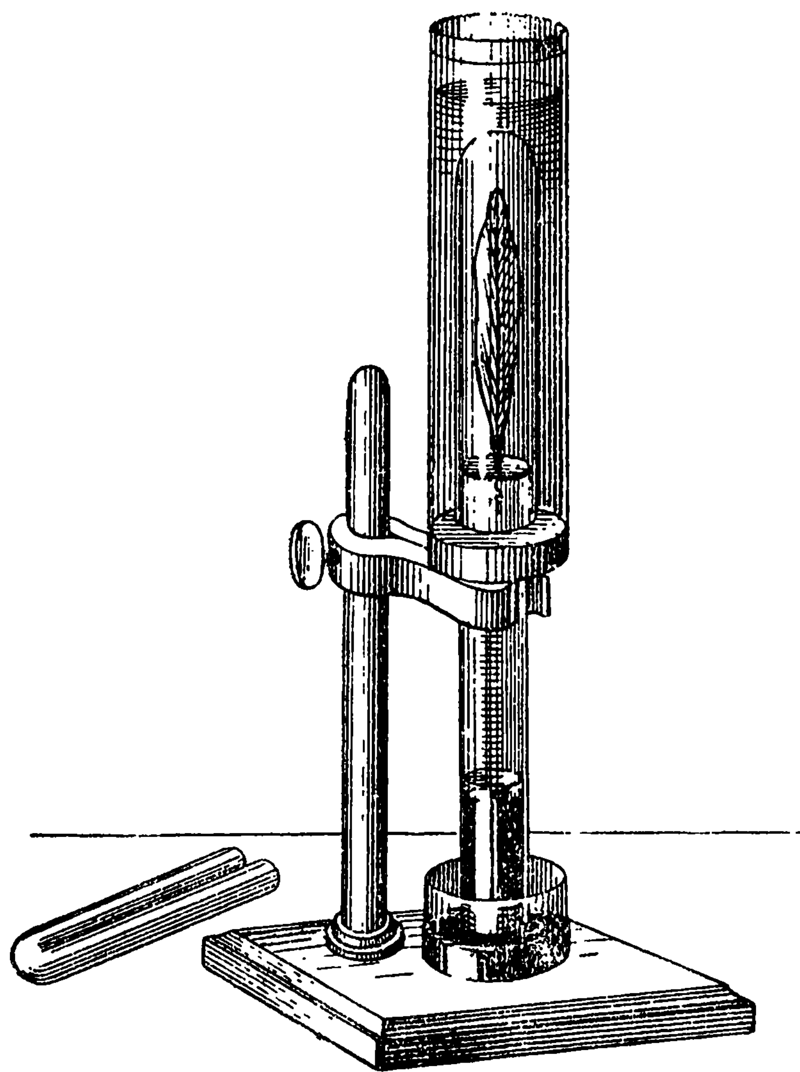


Рис. 1.

Все три листа получали примерно равные, отмеренные количества углекислоты, а остающаяся по окончании опытов углекислота поглощалась в том же приборе раствором едкого кали. При этих операциях соблюдались все необходимые при газовом анализе правила. Разность между взятой и

[1] Более подробное описание приборов и приемов исследования я должен отложить до своей подробной работы. Аппараты употреблены были мною те самые, которые я показывал на съезде натуралистов в Петербурге (см. реферат в Bot. Zeit. 1868, № 26). Довольно странно, что Мюллер, приводящий подробный разбор прежних методов (Pringsheims Jahrb., S. 64), не упоминает о методе Буссенго и даже говорит, что Кальте употребил старый неточный прием.

оставшейся углекислотой выражала количество разложенной листом.

Употреблены были следующие растворы:

Красная жидкость. Аммиачный раствор кармина, темно-красный; пропускает красные и часть оранжевых лучей до 35 черты скалы спектроскопа (см. рис. 2, при 8 — начало видимой части спектра).

Желтая жидкость. Кислая хромисто-калиевая соль; пропускает красные, оранжевые, желтые, зеленые лучи до черты 75.

Зеленая жидкость. Раствор хлористой меди слабой концентрации; пропускает от 35 до 95 черты, следовательно часть оранжевых, желтых, зеленых и часть синих лучей.

Синяя жидкость. Раствор окиси купраммония средней концентрации; пропускает лучи с 79 черты до конца видимого спектра.

Так как у меня было всего три аппарата, то я мог употреблять в один раз только три жидкости и потому полный опыт состоял из двух частей. На первый раз употреблялась прозрачная (вода), желтая и синяя жидкость, т. е. весь спектр и его две половины; затем желтая, зеленая и красная жидкость, т. е. половина спектра и ее две части. Если количество углекислоты, разложенное в белом свете, принять за 100, то в остальных цветах разложились следующие количества.

Количество разложенной углекислоты:

Под бесцветной	жидкостью	(средняя	из двух	наблюдений)	100,0
» желтой	»	»	7	»	86,2
» зеленой	»	»	9	»	47,5
» красной	»	»	9	»	36,2
» синей	»	»	9	»	18,0

Эти цифры по сравнении их с протяжением соответствующих частей спектра могут послужить для построения кривой, выражающей напряжение разложения в различных частях спектра.

Если принять соответствующие различным жидкостям части спектра за абсциссы и из их средин восставить ординаты a. b. c. d. (=частному от деления количества разложенной

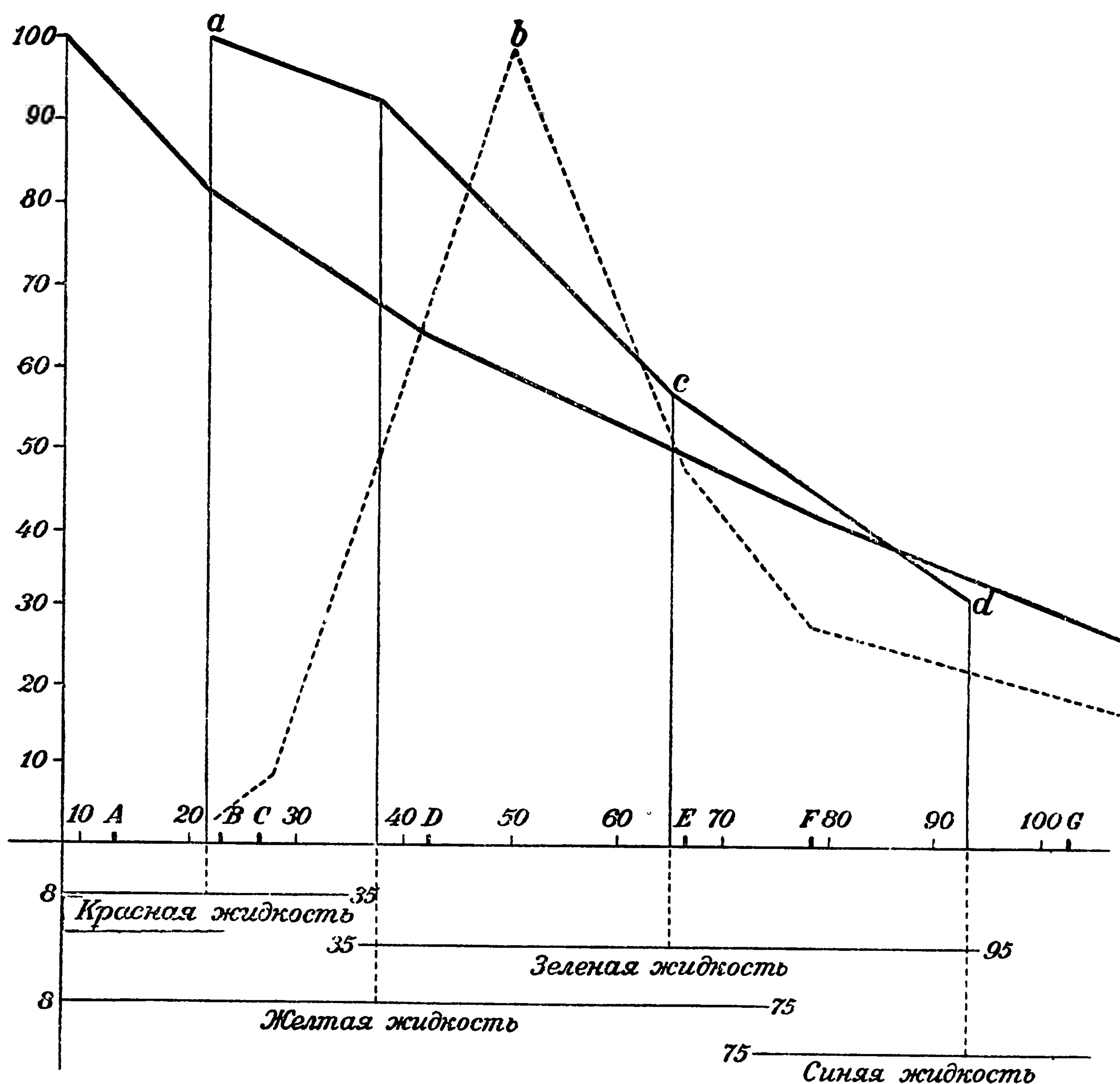


Рис. 2.

под соответствующей жидкостью углекислоты на протяжение соответствующей части спектра), то получим линию abcd. В той же фигуре приведены кривые, изображающие распределение в спектре тепла и света (последняя по Фрауенгоферу).

Легко усмотреть, что линия abcd приближается более к тепловой, чем к световой линии, потому что ее maximum соответствует minimum'у последней, и обе линии перекрещиваются.

Следует заметить, что при построении линии abcd принималась во внимание только видимая часть спектра; но если действие света на процесс разложения пропорционально его тепловому напряжению, то следует принимать во внимание и темные лучи. Тогда точки a, b приблизились бы к красному концу спектра и совпадение линий abcd с тепловой кривой было бы еще нагляднее. Само собою понятно, что эти три линии довольно разнородны, так что их едва можно сравнивать. Тепловая и световая кривая представляют распределение обоих действий непосредственно в спектре, между тем как линия abcd составлена из обрывков спектра, полученных чрез цветные среды. Эта линия могла бы служить для нашей цели только в том предположении, что свет, прошедший чрез жидкости, в каждом случае ослаблен в одинаковой степени, т. е. представляет одинаковый процент падающего на прибор света; но для подобного допущения мы не имеем достаточного основания. Эти различия не могут быть однако очень велики, так что мы можем рассматривать линию abcd как довольно близкое приближение к действительности.

Для получения цифр, пригодных для построения вполне сравнимых между собою кривых, необходимо:

1) Определить влияние темных тепловых лучей на разложение углекислоты.

2) Все употребленные жидкости исследовать непосредственно фотометрически и термоскопически (при помощи термомультипликатора).

Когда моя работа была уже окончена, я узнал о существовании исследования Мюллера,[1] в котором он делает попытку

[1] Untersuchungen über die termischen Wirkungen des Sonnenspectrums von Dr. I. Müller. Pogg. Annalen, B. 105, S. 337. 1858.

изучить распределение теплоты в солнечном спектре при помощи цветных сред. По счастью он употребил те же самые жидкости, которые и я употреблял, но тем не менее его цифрами можно пользоваться только с большою осторожностью, потому что он определяет протяжения спектров только в общих выражениях и притом степень концентрации его жидкостей была иная.

Если, не смотря на это, сопоставить результаты того и другого исследования, т. е. количества разложенной углекислоты и пропускаемой чрез соответствующие жидкости лучистой теплоты, то получим близко совпадающие цифры.

	Количество разложенной углекислоты	Тепловой эффект соответствующ. лучей (по Мюллеру)
Под водой	100,0	100
» желтым раствором	86,2	75
» зеленым »	47,5	48
» красным »	36,2	36
» синим »	18,0	9

Из этой таблицы видно, что всего более расходятся цифры для желтой и синей жидкости, но именно эти растворы были у Мюллера очень концентрированы, у меня очень слабы.

Хотя этих результатов недостаточно для доказательства пропорциональности между разложением и тепловым напряжением лучей, но, тем не менее, я полагаю, что они делают этот вывод весьма вероятным и во всяком случае противоречат воззрению Дрепера.

Я удерживаю за собою право на дальнейшее исследование этого вопроса, основанное на непосредственном фотометрическом и, что еще важнее, термоскопическом изучении употребленных жидкостей».

Первая работа в первом выпуске трудов ботанического института профессора Сакса посвящена занимающему нас вопросу, и очевидно вызвана моей статьей. Принадлежит эта ра-

бота доктору Пфефферу, в первый раз выступившему с ней перед ботанической публикой. В критической части своего труда Пфеффер уделил разбору моей работы почти столько же места, сколько занимает и вся моя статья. В этой критике она признается окончательно негодною, на каждом шагу обличается мое невежество в физике, мне навязывается гипотеза, которой я не высказывал, и, наконец, бросается тень на мою нравственную личность — мне приписывается подлог. Почти четырехлетнее молчание, которым я встретил эту критику, служит лучшим доказательством, какую цену я придавал этим нападкам, но теперь, будучи вынужден для разъяснения дела, заговорить о ней, я считаю долгом рассеять в уме читателей все те сомнения, которые могли запасть при чтении работы Пфеффера. Я считаю долгом предупредить, что не оставляю без ответа ни одного возражения кроме придирок к опечаткам и голословного глумления.[1]

Допуская, что употребленный мною способ исследования хорош,[2] он указывает только на один, по его мнению, существенный источник ошибки в моей работе. Он находит, что я должен был бы удалять лист во время поглощения углекислоты едким натром, так как иначе выделяющаяся во время поглощения углекислота могла быть причиной погрешности в определении. На это я отвечу цифрами. Самое большое количество углекислоты, разлагавшейся в моих приборах, не превышало 4—5 кубических сантиметров, в промежуток времени от 7 до 8 часов. На основании обширных исследований Буссенго, за равные промежутки времени, образуется углекислоты, пример-

---

[1] Так, напр., в немецком тексте упомянуты только три жидкости. Неисправность корректуры видна уже из того, что редакция, не поместив моей таблицы, оставила ссылки на нее в тексте.

[2] Причем Пфеффер выражается таким образом: Тимирязев употребил тот же способ, который и я употребил, и который дает хорошие результаты;— хронологический порядок дела требовал бы совершенно извратить эту фразу.

но, в 20 раз менее, чем разлагается. Поглощение оставшейся углекислоты, при взбалтывании, оканчивалось в $^1/_2$ часа (Пфеффер, правда, производил отсчитывание чрез 15 часов — но его пример ни для кого не обязателен). Таким образом, наибольшее количество углекислоты, которое могло образоваться в $^1/_2$ часа, было $^5/_{300} = ^1/_{60}$ куб. см. А мои трубки, вследствие широкого калибра, были разделены на $^1/_2$ куб. см, а в зрительную трубку можно было легко отсчитывать $^1/_{10}$ деления, т. е. $^1/_{20}$ куб. см. Следовательно, указываемая ошибка была в пределах погрешности метода и обращать на нее внимание значило бы обнаруживать совершенно излишнее усердие. Доктору Пфефферу не мешало бы припомнить изречение — pas trop de zèle, так как мы увидим, что в его приборах предел чувствительности был еще ниже.

Далее доктор Пфеффер осуждает мой способ обозначения результатов. Во-первых, ему не нравится, почему я изображаю спектр флинт-гласовой призмы и все результаты отношу к этому спектру, а не к какому иному, напр., к спектру водяной призмы, почему-то особенно ему нравящейся. Он даже полагает, что это изменило бы самые результаты. На это я могу возразить, что я определял спектр своих жидкостей посредством обыкновенного спектроскопа с флинт-гласовой призмой и, следовательно, к ней и ни к какой иной должен был отнести результаты.[1] Определять отдельные части спектра посредством одной призмы, а результаты относить к полному спектру другой, значило бы делать очевидную нелепость. Доктору Пфефферу повидимому не понятна основная мысль, что сравнивать между собою можно только величины, отнесенные к одной общей мере, и что затем к какой бы призме ни были отнесены результаты, лишь бы только все определения были отнесены к одной, отношение между линиями не может измениться. Переводить

[1] Может быть в Вюрцбургском ботаническом институте и употребляют спектроскопы с водяной призмой, но такая не имеющая смысла фантазия, очевидно, не найдет подражания.

же *все* определения с одной призмы на другую значит забавляться вполне невинными, но зато и вполне бесцельными арифметическими упражнениями. Далее Пфеффер порицает мой способ получения ординат. Я беру за ординаты частное от деления количества разложенной углекислоты на протяжение части спектра, соответствующей взятой жидкости. Доктор Пфеффер берет за ординаты прямо количество разложенной углекислоты. На это можно возразить, что доктору Пфефферу не мешало бы справиться в любом руководстве геометрии, как, зная площадь прямоугольного треугольника и его основание, найти половину его высоты, или как, зная площадь трапеции и ее высоту, найти линию, соединяющую средины ее непараллельных сторон. Количество углекислоты, разложенной под каждой жидкостью, при графическом обозначении представляет известные площади и принимать площади за линии, как это делает Пфеффер, значит не понимать того, что делаешь, не понимать сущности графического приема.[1]

Наконец, переходя к оценке моих результатов, Пфеффер для более удобного поражения меня навязывает мне гипотезу, которой я не высказывал, и затем победоносно ее опровергает. Этот прием или ничего не доказывает или только доказывает, что только Пфеффер не понимает различия между гипотезой и простым заявлением факта. Я утверждал только одно, что мои факты не согласны с взглядом Дрепéра. Что же касается до пропорциональности с тепловым напряжением, то я выразил эту мысль со всевозможными ограничениями и сам же указал на необходимость непосредственного определения термохроичности употребленных жидкостей (посредством термомультипликатора) и изучения действия темных лучей. Доктор Пфеффер, как будто не замечая заключительных слов моей статьи, обязательно советует мне испробовать термохроичность моих жидкостей и указывает на работу Десена (Desain), из которой

[1] Говоря о критике Ломмеля, я еще буду иметь случай возвратиться к этому вопросу.

оказывается, что мой раствор окиси купраммония пропускает более тепловых лучей, чем зеленый раствор хлористой меди, между тем за первым разложение углекислоты гораздо слабее, чем за последним. По этому поводу я могу привести следующие объяснения. Не обладая даром пророка, я мог сравнивать свои результаты с данными Мюллера, работа которого появилась ранее моей, но никак не мог сравнивать их с данными Десена, появившимися чрез два года после моей работы. Скажу более: убедившись в необходимости ближе ознакомиться с явлениями лучистой теплоты, я отправился в 1869 году именно к тому Десену, на труды которого Пфеффер так любезно мне указывает, как к одному из физиков специалистов по этому предмету. Первые же опыты над моими жидкостями разубедили меня в возможности видеть прямой параллелизм между действием луча на термический столбик и на разложение углекислоты. Самые неожиданные (и несогласные с данными Мюллера) результаты получились для синего раствора, и в то время (осенью 1869) Десен не мог мне дать удовлетворительного объяснения.[1] Весною 1870 года появилась его работа, разъяснившая это обстоятельство. Оказалось, что эта синяя жидкость

[1] Привожу несколько цифр из своей записной книги. При пропускании света карсельской лампы чрез красный и зеленый растворы, гальванометр дал в среднем следующие отклонения: для красного 16,5; для зеленого 21,5. Эти величины относятся между собою как 36 : 45 — отношение близкое к 36 : 48, которое получается из данных Мюллера.

Для изучения теплопрозрачности синей жидкости взят был источник света более сильный — лампа Бурбуза. Вот один из опытов, представляющий в резкой форме различие в теплопрозрачности синей и зеленой жидкостей. В опытах, означенных цифрой 1, луч пропускался через ванну в 1 см толщиною с синим раствором и чрез такую же ванну с водой; в опытах, означенных цифрой 2, к этим двум присоединялась еще третья в 1 мм с зеленым раствором хлористой меди. Вот показания гальванометра:

1 — 35°   2 — 0°
1 — 37°   2 — 2°

Из этих цифр видно, что теплые лучи, пропускаемые синей жидкостью, поглощаются зеленой.

пропускает (подобно многим другим синим телам) оба конца спектра, следовательно, и темные тепловые лучи. После этого запоздалого совета доктор Пфеффер старается доказать, что даже результатов Дрепера и Кальте было достаточно для того, чтобы убедить меня в невозможности какой-либо связи между тепловым напряжением света и разложением. Он говорит, что мой приговор над Дрепером ему непонятен; но если он не прочел указанных мною мест, или прочел их и не понял, то вина в том не моя. Об опытах Дрепера я уже высказал свое мнение, остается сказать еще несколько слов об опыте Кальте. В опыте этого последнего за раствором иода в сернистом углероде не произошло разложения углекислоты, и Пфеффер считает этот опыт решительным. Я могу повторить здесь то же, что уже сказал выше. Опыты с подобным раствором, теплопрозрачность которого не была непосредственно определена, остаются мало убедительными. Сказать раствор иода в сернистом углероде — не значит сказать жидкость вполне прозрачная для темных лучей. Тиндаль ясно говорит, и Пфеффер сам приводит это место, что растворы содержащие много иода, или взятые в очень толстом слое, значительно поглощают тепловые лучи. Судя по изменению в цвете слабых растворов с увеличением концентрации, это поглощение и за пределами видимого спектра должно происходить преимущественно со стороны наиболее преломляющихся лучей. С другой стороны, известно, что стекло и вода поглощают лучи, наименее преломляющиеся; следовательно, можно предположить, что раствор с избытком иода, заключенный в стеклянном сосуде, будет пропускать только ничтожную долю тепловых лучей и из них еще часть будет поглощаться водянистой средой самого растения. Убедительным доказательством справедливости этого взгляда, что растворы иода в сернистом углероде могут быть весьма различного свойства, служит противоречие между опытами самого Пфеффера и Кальте. У Пфеффера за этим раствором выделилось довольно значительное количество углекислоты, у Кальте ее

не выделилось вовсе — следовательно, должно заключить, что соответствующее количество разложилось. Правда, Пфеффер разрешает это противоречие весьма просто: он говорит, значит раствор Кальте пропускал световые лучи. Остается только удивляться смелости доктора Пфеффера.

Но самый сокрушающий довод против приписанной мне гипотезы доктор Пфеффер приберег к концу. Привожу собственные его слова, как образец его остроумия и логики, тем более, что он сам очевидно находит это место особенно удачным, так как ссылается на него в своей второй работе. «Наконец, на основании этой гипотезы, углекислота должна разлагаться и в темноте, если только Тимирязев не вздумает приписывать теплоте, испускаемой всяким теплым, не светящимся источником, совершенно иные свойства, чем те, которыми обладают темные тепловые лучи солнца. Но подобное положение он, очевидно, не в состоянии защищать, наперекор всем доказательствам, приводимым физиками». Могу успокоить доктора Пфеффера; я никогда не противоречил физикам, и потому именно не могу утверждать, что лучи всякого темного источника и темные лучи солнца между собою тождественны, и не намерен следовать его блистательной логике, которая привела бы меня, например, к такому силлогизму. «Еслиб углекислота разлагалась при солнечном свете, то она должна бы разлагаться и при слабом рассеянном свете. Но при слабом рассеянном свете она не разлагается — следовательно, она не может разлагаться и при солнечном свете». Вот до какого абсурда может довести способ аргументации, употребляемый доктором Пфеффером.

Если все до сих пор приведенные нападки относились до научной стороны дела, то следующая и последняя направлена уже прямо против моей нравственной личности.

Пфефферу показалось подозрительным указанное мною совпадение между моими цифрами, выражающими количество разложенной углекислоты, и цифрами Мюллера, выражающими

тепловой эффект соответствующих лучей (Wärmeeffect der entsprechenden Strahlen). Он справился в работе Мюллера и нашел, что у него совершенно не те цифры. Приведу его собственные слова. «Такое совпадение, которое представлено в табличке Тимирязева, как не трудно убедиться, ровно ничего не доказывало бы, но сверх того, такого совпадения и не оказывается, если обратиться к действительным цифрам Мюллера. Воздерживаясь от всякого суждения, привожу рядом табличку Тимирязева и цифры Мюллера». Вопрос поставлен ясно. У меня одни цифры, у Мюллера другие. Но доктор Пфеффер забыл, что именно вследствие своей категоричности этот вопрос становится обоюдоострым. Возможно только два объяснения: обман, подлог с моей стороны, или непонятливость с его стороны.

И у меня, и у Мюллера были взяты те же жидкости, но концентрация была различна, так что прямо сравнивать не было возможности. Вот как я поступил. Я прежде всего взял среднюю из его трех рядов опытов, таким образом получились следующие цифры:

Для желтой жидкости	66,3
» зеленой »	9
» красной »	36,6
» синей »	9

Но моя желтая, судя по описанию, равнялась его желтой + + зеленая = 66,3 + 9 = 75,3. Моя красная была сходна с его красной = 36. Моя зеленая равнялась его желтой — красная + + зеленая + синяя = 66,3 — 36,6 + 9 + 9 = 47,7.

Доктор Пфеффер или не понял или не хотел этого понять, и последнее, к сожалению, вероятнее, так как *все свои результаты он вычисляет точно таким же способом.* После этого я с бо̀льшим правом могу повторить его слова, что воздерживаюсь от суждения, предоставляя ему самому приискать название для своего поступка.

Этим исчерпывается длинный ряд взводимых на меня обвинений. Предоставляю читателю судить, есть ли в них хоть одно

не обращающееся на голову самого обвинителя. Но здесь естественно рождается вопрос, какая причина этого озлобления, с чего это желание найти невежество и даже недобросовестность там, где их нет. Доктор Пфеффер весьма обязательно, но в то же время довольно наивно, сам дает и на это ответ. В заключение своей критической части он говорит: «я полагаю, что после приведенной выше критики всякому будет понятно, что предварительное сообщение Тимирязева не могло помешать мне избрать ту же тему». Дело действительно разъясняется; по мнению Пфеффера, раскритиковав мою работу, он получил право, воспользовавшись моими указаниями, продолжать ее. Следовательно, не раскритиковав ее, он не имел бы этого права. Следовательно, для того, чтобы получить это право, он должен был во что бы то ни стало раскритиковать ее. Подобная точка зрения вполне объясняет беспристрастный тон его нападок.

Теперь займемся разбором приемов, употребленных самим Пфеффером, так как без этого невозможно составить себе верного понятия об этой работе, признанной немецкими критиками *образцовою.*

При первом взгляде на прибор, озадачивает отверстие на верху абсорбционной трубки, заткнутое пробкою, но когда обратишься к тексту, то невольно разражаешься смехом. Оказывается, что ни доктор Пфеффер, ни его учитель, профессор Сакс, не знали, как поднять уровень ртути в своих трубках, и для того снабдили их отверстиями затыкаемыми пробкой. Одного этого факта достаточно, чтобы дать понятие о том уровне, на котором стоит экспериментальное искусство в Вюрцбургском ботаническом институте. Наблюдатель, вследствие едва вероятной недогадливости,[1] безо всякой нужды портит свои приборы—

[1] К моей немецкой статье был приложен рисунок, из которого можно было понять все подробности моих приемов, но редакция ботанической газеты сочла его излишним, с чем я согласился. Но, видно, мы были слиш-

приборы ценные, так как они были калиброваны. Правда, Пфеффер приводит доказательства, что он мог затыкать эту пробку с желаемой точностью, но это нисколько не служит доказательством, что не могло случиться оплошности, и никак не оправдывает нарушение одного из основных правил эвдиометрии: чтобы сосуды, где измеряются газы, были по возможности глухие.

Затем идет целый ряд несообразностей. Проволока, на которой закрепляют лист, торчит из ртути и тем способствует сообщению газов, заключенных в сосуде с наружной атмосферой.[1] Самую форму трубки нельзя назвать счастливой: для чего эта узкая и расширенная часть? Можно было бы подумать, для большей чувствительности прибора. Пфеффер, правда, везде приводит сотые и даже тысячные доли кубического сантиметра, но это только напрасно вводит в заблуждение читателя, так как исследователь (как увидим ниже) не может ручаться и за десятые. Таким образом при своей узкой трубке он получал менее чувствительные показания, чем я при своих широких, а между тем она должна была служить немалой помехой при извлечении листа из сосуда, так как при этом необходимо должен был увлекаться в значительном количестве воздух. Всякий знакомый с газовым анализом знает, что нужен известный навык для того, чтобы вывести из широкой трубки даже такое тело, как калиевый шарик, а тем, кому это неизвестно, я могу указать на книгу Бунзена. Нужна известная ловкость для того, чтобы не увлечь, вместе с шариком, пузыря воздуха. Какова же должна быть трудность при извлечении листа, поверхность которого всегда упорно удерживает воздух, и когда его приходится протягивать чрез узкую трубку, где

ком высокого мнения обо всех вообще читателях; по крайней мере, для доктора Пфеффера этот рисунок оказался бы полезным, он избавил бы его от описываемой комической ошибки.

[1] Пфефферу, очевидно, неизвестно указание Бунзена, что конец проволоки в подобных случаях должен быть тщательно погружен под ртуть.

невозможен тот быстрый, сухой удар, о котором говорит Бунзен и который известен всякому знакомому с практикой эвдиометрии. Пфеффер, правда, снова приводит ряд цифр в подтверждение того, что он успешно производил эту операцию, но опять-таки это не служит ручательством, что во всех опытах он был одинаково ловок. Прием, основанный на ловкости экспериментатора, — плохой прием. Наконец, и расширенная часть представляет не удобство, а скорей недостаток: лист может принимать в ней всевозможные положения, так что при одинаковой поверхности может представлять весьма различные площади освещения.

Обращаясь к тексту, встречаем новый ряд несообразностей. Трубки калиброваны, а деления (в полмиллиметра!) наносятся, от руки, лаком. Отсчитывания производятся без зрительной трубы, так что паралактическая погрешность вовсе не устраняется. Наконец, не принимается во внимание изменение в упругости пара вследствие присутствия гидрата кали. А между тем это может составить погрешность не менее 0.3 кубического сантиметра.[1] Вследствие одной этой погрешности бо̀льшая часть цифр, напр., для количеств углекислоты, разложенной под синей жидкостью, являются величинами фантастическими.

Если же принять во внимание и другие источники ошибок, то можно смело считать, что у него погрешность могла доходить до 0.5 куб. см. Я полагаю, что после всего сказанного едва ли можно согласиться с теми немецкими критиками, которые признают эвдиометрическую часть работы Пфеффера — образцовой.

Перейдем теперь к спектральной части опытов. Спектр света, прошедшего чрез жидкость, определялся следующим образом: в колокол, между двойными стенками которого наливался раствор, непосредственно вводилась труба спектро-

[1] Вероятно — более, так как Пфеффер брал *насыщенный* раствор гидрата и оставлял газ в прикосновении с ним 15 часов.

скопа.[1] Неизвестно, каким образом падал свет на щель спектроскопа, нормально или под углом, и в последнем случае — всегда ли под одним и тем же. Таким образом, неизвестно, исследовался ли непосредственный или рассеянный свет и всегда ли он проходил чрез одинаковую толщину жидкости или, может быть, то и другое было различно, в различных случаях. Далее узнаем, что спектральным прибором служил так называемый анализирующий диафаноскит Сакса, т. е. прибор, не имеющий ни зрительной трубы, ни скалы, следовательно, лишающий наблюдателя возможности точно определять границы спектров. Спрашивается, какую цену можно придавать спектральным наблюдениям, при которых свет проходит в неизвестном направлении чрез слой жидкости неизвестной толщины, ограниченный цилиндрическими непараллельными между собою поверхностями и когда границы поглощения определялись на глазомер? Очевидно, что спектры должны быть схематичны. Если красный раствор был раствор фуксина, то приводимый спектр, очевидно, не верен, так как при этой концентрации он должен был бы уже пропускать синие лучи.

Результат опытов Пфеффера, как известно, был совершенно согласен с результатами опытов Дрепера; maximum разложения совпадал с желтыми, а не красными лучами. Но Пфефферу показалось этого недостаточно, он захотел доказать тот же факт и посредством так называемого метода Сакса, т. е. счета пузырь-

[1] Известно, что стенки подобных колоколов не бывают и не могут быть вполне параллельны и равномерно толсты,— следовательно, замена моих трубок этими колоколами не представляет усовершенствования, не говоря уже о том, что с точки зрения удобства эти, болтающиеся в воздухе, тяжелые колокола едва ли можно одобрить. У меня, как сказано, жидкость определялась в сосудах с параллельными стенками; им можно было давать наклон, чтобы убедиться, каково будет влияние высоты солнца, которое оказывалось несущественным. Наконец, приготовление жидкости с желаемым спектром в самых колоколах должно быть крайне неудобно или неточно.

ков, и тем восстановить кредит этого приема, потрясенный исследованиями Ван Тигема. Это желание услужить своему учителю поставило, как мы сейчас увидим, Пфеффера в довольно неловкое положение. Считаю полезным сказать несколько слов о том, как менялись воззрения Сакса и Пфеффера на этот способ исследования. Прежде всего должно заметить, что самое название: «Метод Сакса», которое ему дано, не законно, так как мысль определять интенсивность изучаемого процесса посредством счета пузырьков газа, выделяющегося из разреза водяного растения, принадлежит Дютроше.[1] Говоря в обзоре литературы об исследовании Сакса и критике на него Мюллера, Пфеффер утверждает, что Сакс имел в виду только изучить влияние различных лучей на *быстроту выделения газа*, следовательно, на явление, само в себе (т. е. без отношения к содержанию кислорода) ничего не выражающее. Эта защита, кроме своей странности, фактически неверна, так как сам Сакс в своем руководстве физиологии говорит, что принимал число пузырьков *за меру* (als Mass) выделяющегося кислорода. Впоследствии, в своей второй работе, Пфеффер изменил свое мнение об этом способе, а Сакс в своем учебнике начал утверждать, что он пригоден даже для самых точных исследований. Но в настоящем случае эта тактика была необходима для доктора Пфеффера, так как способ дал результаты до того неблагоприятные, что Пфеффер даже не вычислил их. Вот оба ряда цифр, вычисленных одинаковым образом:

	Количество выделившегося кислорода	Число пузырьков
В красных и оранжевых лучах . .	32,1	44,6
» желтых лучах	46,1	37,9
» зеленых лучах	15,0	12,1
» синих лучах	7,0	19,2

[1] Способ этот Дютроше употребил в его известной работе о дыхании растений.

Положение, очевидно, было щекотливое: или нужно было отказаться от метода Сакса или усомниться в результатах первого ряда. Пфеффер выходит из этой дилеммы при помощи гипотезы. Он говорит: должно допустить, что число пузырьков не пропорционально количеству кислорода, а что там, где пузырьков выделяется менее, газ кроме того относительно беднее кислородом,[1] т. е. содержит большую примесь посторонних газов, преимущественно углекислоты. Но, во-первых, такое толкование совершенно произвольно, так как a priori едва ли можно разрешить, каков будет баланс различных совершающихся при этом процессов. Пфеффер старается доказать это таким образом: он говорит, что при медленном выделении кислород успевает более смешиваться с посторонними газами, но подобное заключение очевидно только для такого случая, когда пузырек кислорода проходит чрез жидкость, содержащую эти газы: тогда понятно, что чем медленнее совершает он свой путь, тем более он примет в себя на пути посторонних газов. Но здесь дело иного рода; в полости растения заключается атмосфера кислорода и углекислоты, находящаяся в равновесии с атмосферой, растворенной в окружающей жидкости; это равновесие нарушается выделением нового количества кислорода. Это выделение обусловливает выделение, в виде пузырька, части смеси, заключенной в полости. Таким образом внутренняя атмосфера становится богаче кислородом, что вызывает диффузию внутрь нового количества углекислоты.[2] Если бы выделение углекислоты из раствора в двух случаях, когда выделение кислорода различно, можно было принять равным, тогда, очевидно, газ в том случае, где кислорода выделяется абсолют-

[1] Тогда величина для красного света будет менее сама по себе; также уменьшатся величины для оранжевой и фиолетовой жидкости, а следовательно, увеличатся вычисляемые из разности величины для желтых и зеленых лучей.

[2] Поступление углекислоты действует, как обстоятельство, увеличивающее число пузырьков, следовательно, не число пузырьков влияет на содержание углекислоты, а наоборот.

но более, был бы относительно богаче кислородом, но ведь выделение углекислоты определяется парциальным ее давлением на жидкость, следовательно, должно быть быстрее там, где кислород выделяется скорее. Повторяю, a priori нет основания предполагать, чтобы это подвижное равновесие не сохранилось в одном случае так же, как и в другом. Это решить может только опыт. Пфеффер полагает, что его цифры именно и являются подтверждением справедливости его взгляда; но он забывает, что рассуждая таким образом он вертится в ложном круге: желая объяснить несогласие цифр двух рядов опытов, он прибегает к гипотезе, а эту гипотезу старается доказать несогласием цифр. Но если даже подобное возрастание содержания кислорода с увеличением числа пузырьков и оказалось бы верным, то оно никак не в состоянии объяснить такое резкое разногласие, каково разногласие цифр Пфеффера. Так, напр., цифра, выражающая количество пузырьков, выделившихся за красной жидкостью, превышает цифру, выражающую количество выделившегося кислорода, на 30%. Едва ли возможно допустить такую примесь посторонних газов. Пфеффер сам указывает на углекислоту, как на главную примесь, но Кноп, производивший обширные опыты над выделением газов из водяных растений и подвергавший их анализу, не находил, даже в таком случае, когда вода была насыщена углекислотой, более процента этого газа. Если таково все количество примеси, то как же ничтожны должны быть величины, выражающие колебания в этом количестве. Таким образом мы видим, что толкование этого процесса, предложенное Пфеффером, довольно шатко и во всяком случае не в состоянии объяснить разногласия между его цифрами.

Следовательно, опыты, производимые по способу пузырьков, не подтверждают, а скорее опровергают результаты, полученные по первому способу.[1]

---

[1] Какою иронией после этого звучит отзыв критика Botanische Zeitung, который говорит: «автор (Пфеффер) отдает полное уважение методу Сакса и победоносно защищает его от новейших критик».

Тем не менее, результаты первого ряда говорят в пользу защищаемой Пфеффером теории и потому находятся в прямом противоречии с моими результатами. Понятно, что ввиду такого фактического разногласия не мне произносить суждение. Полагаю только, что приводимых мною соображений достаточно, по крайней мере, для того, чтобы разубедить читателя в *образцовости* и непогрешимости этой работы. [1] До сих пор я мог указать на целый ряд неточностей, но не могу указать на одну какую-нибудь выдающуюся ошибку, которая могла бы объяснить разногласие наших результатов. Теперь укажу на одну, весьма существенную, неправильность в самом способе получения данных, постоянную для всех опытов и влияющую в направлении, полезном для воззрений Пфеффера. Различие между его результатами и моими заключается в том, что для красных лучей он получает величины выше моих, для желтых — ниже моих. Но способ вычисления для тех и других у меня один и тот же, у него же действие красных лучей определяется непосредственно, действие желтых — косвенно, из разности (100 — n). Но непосредственное определение дает всегда величины *менее действительных*, [2] так как при определении спектров не принимается во внимание полутень краев спектра, да и тот свет, который проходит, все же ослаблен. Таким образом у меня для всех жидкостей была одна ошибка, так как для всех результаты вычислялись непосредственно. Пфеффер этим способом вычислял только для красной жидкости,— следовательно *величины для красных лучей ниже действительных*. Величина же для желтых лучей получалась следующим образом. Определялось количество углекислоты, разложенной под орселином и фиолетовой жидкостью; коли-

[1] Критик Botanische Zeitung говорит: «Пфеффер заслуживает благодарности за свой (?) точный метод» и далее: «поверочные опыты представляют образцовую (musterhaft) точность и полноту». Тот же эпитет musterhaft встречаем и у Бёма.

[2] См. об этом в статье Мюллера, Pogg. Annalen, B. 105.

чество это, на основании сказанного, *менее действительного* (на этот раз различие между полученной величиной и действительной должно быть еще более, так как спектр состоит из двух частей,— следовательно, и ошибка двойная). Но, вычитая эту величину из 100, очевидно, получим *для желтых и зеленых лучей величины более действительных.* Покажем на примере: действие желтой жидкости, измеряемое непосредственно, = 88; измеряемое из разности (100 — синяя жидкость) = 93. Действие желтых и зеленых лучей из разности (желтая жидкость — красная жидкость) = 88—32 = 56; из разности (100—фиолетовая жидкость) = 61. Можно считать, что ошибка, примерно, около 5%.[1] Тогда, вместо величин 32 : 46, которыми выражается отношение красных лучей к желтым, по Пфефферу, получим уже менее убедительное отношение 37 : 41. Как бы то ни было, при способе вычисления результатов, употребляемом Пфеффером, *ошибка, зависящая от самого метода экранов, постоянно ложится: с— на красные лучи, с + на желтые,* т.е. в смысле, благоприятном для защищаемой им теории.

К этой постоянной ошибке присоединялась еще следующая неосторожность. Все различие моих и его результатов зависит от того, что величины для орселина, фиолетовой и красной жидкостей менее моих.[2] Следовательно, если результаты Пфеффера зависят от ошибки, то она должна относиться ко всем трем жидкостям. Именно, все эти три жидкости были отнесены к одному ряду. У меня красная и зеленая жидкости всегда находились в одном ряду, следовательно, всякая случайная ошибка ложилась одинаковым образом на ту и другую,— между тем, как мы видели выше, всякая ошибка у Пфеффера ложилась с + в одну, с — в другую сторону. Таким образом, одна какая-нибудь общая ошибка, понижающая в двух последних рядах опытов Пфеффера все величины для цветных жидкостей, изменит

[1] Подобную же ошибку принимал и Мюллер в своих вычислениях теплового спектра.

[2] Данные для хромистокалиевой соли у нас сходны.

не только их абсолютные величины, но и отношение между ними.

Такая ошибка может, например, относиться к общей единице, с которой сравниваются все другие величины, то есть к количеству углекислоты, разложенной под колпаком с водой. Может быть нечто подобное и случилось с опытами Пфеффера. Абсолютные количества углекислоты, разложенные при полном белом свете, в последних двух рядах значительно выше, чем в первом. Если взять среднюю из всех опытов первого ряда, то получим на 100 кв. см в 1 час 5,7 куб. см, а для двух последних рядов — 7,2. Это различие (почти на $^1/_4$) значительнее, чем различие, например, между прибором, подвергающимся непосредственному освещению, и прибором, затененным посредством бумажного экрана. Может зародиться сомнение: не было ли какой оплошности при употреблении бумажных экранов, которыми загораживались приборы в ясные дни?[1] О форме и положении их ничего не сказано. Не стоял ли прибор с водой с краю, не получал ли он случайно более рассеянного света? Я не желаю этим высказать догадку, что в действительности что-либо подобное случилось с опытами Пфеффера; я желаю только указать на опрометчивость его способов вычисления и распределения опытов, причем в его цифрах *должна быть постоянная* и значительная ошибка в смысле, благоприятном для его теории, а *могли быть и случайные*, которые, при другом распределении и вычислении опытов, были бы устранены.

Остается сказать несколько слов о его выводах. Кроме подтверждения выводов Дрепера, Пфеффер приписывал себе,

---

[1] Вообще употребление этих бумажных экранов для меня совершенно не понятно. Из своего опыта я могу сказать, что когда лист окружен слоем жидкости, непосредственное освещение солнца не оказывает вредного влияния (т. е. лист не завядает); спрашивается, для чего было бесцельно ослаблять действие света? ведь в природе же листья подвергаются непосредственной инсоляции? Впрочем, кажется, Пфеффер сам убедился в том уже по окончании опытов.

и Сакс признает за ним, еще другую заслугу. Они оба утверждают, что Пфеффер первый доказал, что всем лучам присуще известное, специфическое значение, независимо от того, действуют ли они порознь или вместе. Этот вывод основан на том, что сумма количеств углекислоты, разложенных под различными лучами, дает 100, т. е. количество, разложенное в белом свете. Пфеффер утверждает, и Сакс свидетельствует, что его работа в первый раз доставила это доказательство. Но ведь у меня желтая+синяя жидкость или красная+зеленая+синяя дают величины, близкие к 100.[1] А опыты Дрепера с желтой и синей жидкостями, разве они не приводят к тому же заключению? И для чего же, наконец, я хлопотал о получении жидкостей, которые бы дозволяли подобную проверку? А между тем Пфеффер в своей второй статье, три раза на одном столбце повторяет, что до него никто этого не сделал и не мог сделать. Решительно не понимаешь на что здесь предъявляется право.

Так как разногласие между моей работой и работой Пфеффера чисто фактическое, то очевидно, что каждый из нас не судья в этом деле. Суд принадлежит третьему лицу.[2] Эту роль судьи пока, насколько мне известно, принял на себя г. Бородин. Г. Бородин воспользовался переводом агрономической химии А. Мейера, в которой приложена моя таблица, для того, чтобы категорически выразить мне порицание, а Пфефферу одобрение. Я, разумеется, не протестую, да в науке и нет такого трибунала, к которому можно было бы обратиться с про-

---

[1] Близкие к 100, а не равные 100, потому что такое строгое совпадение невозможно, так как в самом методе кроется неустранимая ошибка. Впрочем, и сам Пфеффер понимает, что его сумма, равняющаяся 100, не что иное, как случайность, нисколько не усиливающая довода. Можно даже сказать, что результаты Пфеффера были менее пригодны для такой проверки, так как у него многие данные вычислялись из разности.

[2] Пфеффер не придерживается этого правила; он о себе постоянно говорит: «я доказал, я окончательно доказал», или так: «Мюллер получил такие-то результаты, я — другие, следовательно, Мюллер не прав». Такая вера в себя заразительна; она сообщается и читателю.

тестом. В науке, всякий, произносящий решительный приговор, берет его на свою ответственность, и обязателен он только для тех, кто признает компетентность судьи. Но дело иного рода, когда судья приводит мотивы своего приговора; обсуждение их никому не возбраняется. Бородин начинает с того, что отдает мне справедливость в том, что мои приемы точнее; из этого, кажется вытекает: ergo, работа Тимирязева заслуживает большего доверия. Но у г-на Бородина оказывается наоборот. Педпочтение отдается Пфефферу; а моя работа окончательно отвергается. Между тем, в пользу Пфеффера предъявляются только два обстоятельства: во-первых, большее число его опытов и согласие их с фотометрическими определениями Фирордта. Конечно, при увеличении числа опытов устраняются случайные ошибки, но, это безусловно верно только по отношению к одному и тому же приему, и прежде чем распространять это соображение на оценку двух различных исследований, представляющих различную степень точности, г-ну Бородину следовало бы установить какую-нибудь эквивалентность между степенью точности обоих способов. Нельзя же допустить, что более значительное число менее точных опытов всегда уравновешивает, превосходит и даже вполне уничтожает меньшее число более точных опытов. Наконец, и самое численное превосходство сомнительно. Пфеффер приводит в конце статьи чуть не все свои численные данные (везде с фантастическими сотыми долями) и этот ряд цифр, очевидно, ослепил г. Бородина. Для решения спорного вопроса [1] существенно важны только те опыты, которые дают непосредственные величины для красных и желтых и зеленых лучей, но для первых у Пфеффера 12 опытов, из них один говорит против него, и им отвергается, и один неудачен, так что не принимается им в расчет; остается 10. У меня их 9. Для желтых и зеленых

[1] На основании сказанного выше о непосредственном и косвенном вычислении и о малом доверии, внушаемом цифрами для синей жидкости.

нет ни одного непосредственного опыта, но 20 косвенных; у меня — 9 прямых. Если же считать только ряды опытов, так как в общей ошибке они должны отозваться на всех данных того же ряда, то у него 10 рядов, у меня 9. Спрашивается: где же это подавляющее численное превосходство? Затем г. Бородин усматривает новый довод в согласии результатов Пфеффера с результатами фотометрических измерений Фирордта.[1] Но иначе и быть не могло; исследования Фирордта сделаны, существенно, по тому же методу, как исследование Фрауенгофера, а с последними данные Пфеффера согласуются. Цифры Фирордта, правда, точнее цифр Фрауенгофера, но и данные Фрауенгофера еще слишком точны для сравнения с данными Пфеффера. Следовательно, сравнение грубых данных Пфеффера с более точными данными Фирордта, которое делает Бородин, не лишено значительной доли произвола. Во всяком случае совпадение цифр Фирордта и Пфеффера не представляет нового довода в пользу последнего.

Между тем, торжество учения, защищаемого Пфеффером и Саксом, приобрело ему многих последователей, которые стали развивать его до его крайних последствий. Таковыми явились Прильё и Баранецкий. Они совершенно логично рассуждали, что если действие света на изучаемое отправление растения пропорционально его влиянию на глаз, то это отношение должно оправдаться еще и следующим образом. Свет различного цвета, но одинакового напряжения, т. е. одинаковой яркости для глаза должен одинаково действовать на растение.

Прильё проверил свой взгляд, определив число пузырьков, выделяющихся за синей и желтой жидкостями, пропускающими свет одинаковой яркости (что было определено обыкновенным приемом Румфорда), и получил результаты, подтверждаю-

[1] Любопытно, что из двух цифр Пфеффера, приводимых г. Бородиным в подтверждение этого согласия, одна, относящаяся к синей жидкости, как мы видели, не заслуживает доверия (см. стр. 249).

щие его предположение. Жарким защитником мнения Прильё явился Баранецкий,[1] видевший в нем совершенно новое начало, проливавшее значительный свет на все относящиеся сюда факты. Референт «Botanische Zeitung» также поспешил высказать свое одобрение теории Прильё.

Около этого времени послышался одинокий голос с совершенно другой стороны и провозглашавший совершенно другую истину. Ломмель, физик, по поводу своих исследований над флуоресценцией, случайно обратил внимание на нелогичность, на несообразность с здравыми физическими понятиями этой теории о пропорциональности действия света на глаз и на разложение углекислоты. Ниже мы разберем эту статью в подробности, здесь же упоминаем о ней в хронологическом порядке, так как она несомненно должна была влиять на теоретические воззрения, которые начал вслед за тем развивать Сакс.[2] Статья Сакса была заблаговременно возвещена Пфеффером, который объявил в «Botanische Zeitung», что его учитель совещается с своими знакомыми физиками и выскажет окончательное суждение по этому вопросу. После почти целого года ожиданий так торжественно возвещенная статья появилась, но обещанного ключа для уразумения этого явления все же не принесла. Тем не менее мы разберем ее в подробности, так как в ней выражается образ мыслей главы современной физиологической школы. Она вся направлена против Прильё и Баранецкого. Из них, очевидно, решено сделать козлищ очищения. Но, посмотрим, насколько такой образ действия справедлив.

---

[1] В защиту он приводил даже опыты, впрочем, ничего не доказывающие и, по своему содержанию, сюда не относящиеся.

[2] Хотя Сакс в своей статье не упоминает о ней ни слова, но трудно допустить, чтобы она не была ему известна, так как статья Сакса появилась летом 1872 (она помечена 16 сентября 1871), а статья Ломмеля вышла в начале 1871 и перепечатана в трех немецких журналах. Я познакомился с ней в июне 1871 года. Трудно допустить, чтобы ученые известия достигали из Эрлангена в Вюрцбург позже, чем в Москву.

Мы уже видели, что Дрепер, найдя из опыта связь между световым напряжением и усвоением углерода, пытался объяснить ее при помощи гипотезы, правда, неудачной, но все же на время удовлетворявшей логической потребности связать рациональной причиной два явления, связь которых казалась доказанной фактически. Сакс и Пфеффер, не знавшие о гипотезе Дрепера, нисколько не заботились об отсутствии логического смысла в защищаемом им учении, а просто держались его, как догмата. Прильё и Баранецкий также не пытались найти связующее звено, но признавали его существование; они принимали эту связь за действительную, причинную. Они понимали дело таким образом, если эта связь существует, то, очевидно, оба явления, акт зрения и разложение, зависят от одной общей причины, а, следовательно, с изменением этой причины должны изменяться и оба ее последствия. Отсюда их желание убедиться: не окажет ли свет различного цвета, но одинаковой яркости, одинаковое действие, — является вполне логическим следствием первой посылки. Еслиб, напр., гипотеза Дрепера была верна, то это предположение должно было бы оправдаться.

Чтобы доказать несостоятельность воззрений Прильё, Сакс старался показать, что его прием исследования, т. е. употребление желтого и синего света одинаковой яркости, совершенно неправилен. Он старался доказать, что ни тот, ни другой свет не был монохроматичен, а состоял из смеси разнородных лучей.[1] Но, во-первых, это было очень хорошо известно этому наблюдателю и на доказательство справедливости его взгляда нисколько не влияет. Ему достаточно было доказать, что *из разнородных лучей можно составить смеси различного цвета,*

[1] Для большей убедительности Сакс приводит следующую фразу сомнительного остроумия: «Его (т.е. Прильё) «синий свет» можно почти также хорошо назвать желтым, несколько ослабленным и нечистым от примеси синих и других лучей». Но почему же после этого не сказать: «желтый свет — это такой синий свет, в котором синие лучи отсутствуют».

но одинаковой яркости, и одинаково действующие на растительный процесс. И это он доказал (или полагал, что доказал). Следовательно, первое возражение Сакса нисколько не изменяет положения дела. Если факты Прильё верны, то и вывод из них законен. Для того, чтобы опровергнуть вывод, нужно опровергнуть факты, как это и сделал впоследствии Дегерен.

Далее, чтобы окончательно доказать невозможность задачи Прильё, Сакс доказывает невозможность фотометрического сравнения двух источников света различного цвета и ссылается при этом на Гельмгольца. На это можно вообще заметить, что ботанику-физиологу должно обращаться с такими физическими сочинениями, каковы труды Гельмгольца, с большою осмотрительностью; это слишком острое оружие, чтобы с ним можно было обращаться неосторожно. Смысл слов для Гельмгольца иногда совершенно иной, чем для Сакса. То, что для Гельмгольца неточно, для Сакса еще слишком точно. Именно такое недоразумение случилось и на этот раз. Сакс, на основании мнения Гельмгольца, что невозможно сравнивать интенсивность света различных цветов, осуждает попытку Прильё и Баранецкого, а сам забывает, что все свои соображения основывает на кривой Фрауенгофера, которая получилась именно чрез сравнение света различного цвета с белым. Если Гельмгольц отрицает возможность такого фотометрического измерения, то он этим осуждает и Фрауенгофера и Фирордта и др., т. е. отрицает возможность большой точности в подобных определениях. Таким образом, если Сакс запрещает Прильё сравнивать яркость своих двух жидкостей, то должен сам отказаться от кривой Фрауенгофера. Но в этом нет никакой надобности; можно быть уверенным, что для наших, сравнительно грубых, физиологических исследований ни Гельмгольц, ни какой другой физик, не возбранит употреблять такие грубые приемы, как приемы Фрауенгофера, Румфордта, Фирордта и др.[1]

[1] Сакс оставляет еще под сомнением: не разрешит ли новый прием Фирордта вопроса о сравнении интенсивности различных лучей. Для него,

После этого неудачного нападения, Сакс распространяется о нелогичности самого представления, что этот процесс действительно, фактически зависит от светового напряжения; но здесь должно сознаться, что его доводы обрушиваются на его же голову. Он подробно объясняет давно известную истину, что свет явление субъективное,[1] что вне глаза его не существует, что единственная мера его энергии заключается в тепловом напряжении. После этого казалось бы, необходимо предложить какое-нибудь объяснение для этого совпадения, [2] или хоть выразить надежду, что эта логическая потребность будет как-нибудь удовлетворена. Нимало; все это говорится только с целью заявить, что, утверждая вместе с Пфеффером о существовании связи между действием света на глаз и на растение, они не связывали с этим утверждением никакой определенной логической мысли. Это только Прильё с Баранецким вообразили, что тут нужна логика. Никакой причинной связи тут нет; это просто — *случай.*[3]

Непонятно, как профессору Саксу не пришли на память его слова, сказанные по другому (несравненно менее удачному) поводу и поставленные в заголовке этой главы: «Если бы это было возможно — то мы имели бы дело с каким-то естественным законом, *лишенным всякой причинной связи,* и который восстал

очевидно, не ясно, что причина лежит в самой природе явления и, следовательно, не может быть устранена незначительным изменением приемов исследования.

Задачу Прильё можно осуществить и не прибегая к непосредственному определению. Стоит только площадь, выражающую по Фрауенгоферу все количество света в спектре, разделить вертикальной линией на две равные части, и затем принять основания этих площадей за протяжения спектров искомых двух жидкостей.

[1] И притом истину, которую незадолго пред тем напомнил ботаникам Ломмель.

[2] Мы увидим, что подобные объяснения возможны.

[3] См. эпиграфы в начале настоящей и следующей главы.

бы пред нами *неразъясненным чудом.* По счастью дело еще не так плохо».

Решительно, эта статья — единственная в своем роде. Натуралист, написавший только что приведенные слова, находит странным, что другие ищут между явлениями причинную связь. Ее нет, говорит он, это случай — это чудо.

Но можно было бы подумать, что убедившись в том, что эта связь *случайная* или, выражаясь его же словами, «чудесная», Сакс изменит свои воззрения, будет стараться показать, что связь эта вовсе не так строга, что кривые не так близко совпадают. Напротив, он с радостью встречает новую работу Пфеффера, доказывающую, что кривые совпадают чуть не точка в точку. Ни тени смущения перед этим враждебным всякой логике фактом. Едва ли какой ученый с таким спокойствием уклонялся с пути, по которому идет положительная наука, — с таким удовольствием приветствовал *чудо.*

Итак, мы видим, что все недоразумение между Прильё и Баранецким, с одной стороны, и Саксом, с другой, заключалось в том, что первые полагали, что за теорией последнего скрывается логическая мысль, от чего он торжественно отрекается.

Во всяком случае, этой статьей Сакс принес услугу науке, хотя не ту, которую имел в виду. Сознавшись так торжественно в нелогичности защищаемого учения, он тем пошатнул к нему доверие. Впрочем, эта задача до него и гораздо удачнее была выполнена Ломмелем. Прежде, чем перейти к этой новой фазе занимающего нас вопроса, которая началась со статьи Ломмеля, следует притти к какому-нибудь заключению по поводу работы Прильё, так как, в случае ее фактической верности, она должна являться подтверждением теории Дрепера. Довольно убедительное опровержение этой работы представил Дегерен. Он избрал путь несколько более точный: он измерял объем газов, выделяющихся за четырьмя различными растворами (красным, зеленым, желтым и синим), пропускавшими свет одинаковой яркости. Яркость света была определена фото-

метром Румфорда. Дегерен получил результаты, совершенно противоречащие результатам Прильё. Так, наприм., при одинаковой яркости, следующие две пары дали такие результаты:

Желтая жидкость	81	Красная жидкость	137
Синяя	17	Зеленая	27

Таким образом, эти опыты совершенно опровергают теорию Прильё, так высоко поставленную Баранецким. Но на вопрос об относительном значении различных лучей они не дают никакого ответа, так как жидкости не были подвергнуты спектральному исследованию.

Обратимся теперь к статьям Ломмеля. Первая из них появилась в начале 1871 г., и затем была перепечатана два раза, вторая в начале 1872 года, следовательно, обе — до выхода только что разобранной статьи Сакса.

Ломмель, повидимому, случайно наткнулся на этот вопрос, по поводу своих исследований над флуоресценцией. Занимаясь флуоресценцией хлорофилла, он затронул вопрос о связи между оптическими свойствами этого вещества и усвоением углерода. Передадим вкратце содержание этого места его труда. Прежде всего он ставит два общих положения. Только те лучи, которые поглощаются, могут вызывать химическое действие. Но это действие зависит не от одной поглощаемости, оно зависит еще от живой силы луча, от его «механического напряжения». Таким образом, луч не поглощенный не окажет действия, луч поглощенный, но обладающий малым механическим напряжением, окажет слабое действие.

Но как же определить эту живую силу луча? Световое напряжение для этого непригодно — оно имеет только физиологическое значение, для растения света не существует; для него существует только лучеиспускание, волнообразное движение эфира. Также и химическое напряжение — понятие совершенно ложное: это напряжение различно для различных

тел, называются же химическими известные лучи только по привычке.

Только тепловое напряжение может служить мерой живой силы, только термомультипликатор можно назвать актинометром.[1]

Распределение теплоты в спектре известно. Отсюда вытекает прямое заключение.

На процесс ассимиляции должны всего энергичнее действовать лучи, поглощаемые хлорофиллом и в то же время обладающие наибольшим механическим напряжением. Это будут лучи между линиями B и C. Остановимся на оценке высказанных здесь мыслей. Разумеется, все, что касается общих положений о связи химического действия с поглощением, об измерении живой силы света, представляет ходячие истины. Новым здесь может представиться только применение к частному случаю, указание на связь разложения углекислоты с поглощением света в листе.

Но и в этом отношении мысль, высказанная Ломмелем, не совсем нова. Гельмгольц, указав на значение света в процессе ассимиляции, в то же время указал на то обстоятельство, что листья отличаются энергическим поглощением света, что особенно обнаруживается в фотографии — листья почти не отражают деятельных в фотографии лучей: они их поглощают. Таким образом, общая мысль о связи между поглощением света листьями и производимой в них работой была указана Гельмгольцем, но он указал не на те лучи, которые действительно вызывают это явление, или, по крайней мере, не на те, которым следует приписать главную роль в этом процессе.

Мысль же о связи между поглощением света хлорофилла и разложением была, кажется, в первый раз высказана Жа-

[1] Ломмель между прочим говорит: «В будущем термомультипликатор должен сделаться одним из необходимых инструментов в растительно-физиологической лаборатории».— Я могу заверить, что с 1869 г. постоянно обращаюсь с этим инструментом.

меном. Указав, что раствор хлорофилла поглощает известные лучи, он задается вопросом, что же происходит с этими лучами, и приходит к тому заключению, что часть их претерпевает изменение в явлении флуоресценции и вновь рассеивается; к этой категории принадлежат, по его мнению, лучи, поглощенные хлорофиллом в красной, синей, фиолетовой и ультрафиолетовой частях спектра. Но средние лучи, оранжевые, желтые, зеленые не флуоресцируют, хлорофилл их удерживает; они-то и составляют тот запас силы, который накопляется в растении. «Посмотрим,— говорит Жамен,— не соответствует ли этому заимствованию силы извне какое-нибудь последующее явление», и затем указывает на опыты Дрепера, подкрепляющие его воззрение. Это поглощение сопровождается разложением углекислоты; должно допустить, что первое — причина последнего.

Таким образом Жамен не только связывает два факта — оптические свойства (поглощение и флуоресценцию) хлорофилла с разложением углекислоты,— но в то же время дает рациональное объяснение опыту Дрепера. В этом блестящем обобщении Жамена встречается один недостаток, объяснимый, впрочем, неполнотою тогдашних сведений о флуоресценции хлорофилла. Самый факт, на который опирается его теория, не верен: средние абсорбционные линии также флуоресцируют, хотя в меньшей степени (соответственно слабому поглощению), следовательно, того различия, которое Жамен видел между абсорбционными линиями, не существует. Тем не менее ему принадлежит мысль связать оптические свойства хлорофилла с процессом разложения углекислоты.

Итак мы видим, что первая половина теории Ломмеля не нова, и если Жамен не высказался в такой общей форме, как Ломмель, то, очевидно, потому только, что такое мнение шло в разрез с опытами Дрепера. Ломмель оказался храбрее; он прямо, категорически отрицает факты Пфеффера и даже пытается видеть в них подтверждение своего взгляда. Эту попытку

нельзя не считать натяжкой.[1] В защиту своего взгляда он во всяком случае приводит один действительно веский факт, именно — крайне слабое разложение углекислоты под раствором хлорофилла. Это соображение приобретает еще особый вес ввиду замечания Пфеффера, что и под зеленым, и под побуревшим хлорофиллом разложение было одинаково; между тем известно, что последний отличается от первого именно тем, что он пропускает желтые лучи, по теории Пфеффера самые энергические.

Во второй своей статье в 1872 году Ломмель с такою же ясностью, но еще подробнее развивал мысль, что разложение углекислоты должно зависеть от двух обстоятельств: от *абсорбционного спектра хлорофилла* и от *распределения тепла* в спектре.

На этот раз он добавляет, что, кроме главного maximum'а между B и C, должны существовать еще другие, соответствующие другим абсорбционным линиям, существование которых в спектре свежих листьев сначала он отрицал, но теперь признал.[2]

После некоторых общих соображений об источниках неточности при опытах с цветными экранами (обстоятельстве, вполне выясненном мною в моей статье), он переходит к оценке моей работы, которая не была ему известна, когда он писал свою первую статью. Очевидно, увлекшись примером Пфеф-

---

[1] Так, напр., он не сомневается в том, что под красной жидкостью разложилось бы столько же углекислоты, сколько и под желтой, если бы «было обращено внимание, чтоб механическая интенсивность лучей, прошедших чрез ту и другую жидкость, была одинакова», т. е. если бы желтая была взята «в гораздо более толстом слое». Как-то странно слышать такие вещи от физика; неужели Ломмель не понимает, что желтая жидкость в таком случае была бы уже не желтая, а красная.

[2] Отрицаемое многими авторами присутствие и одинаковое положение абсорбционных полос в листе и отдельных хлорофилловых зернах было мною доказано еще осенью 1871 года; последний факт при помощи моего микроспектрального прибора.

фера и не дав себе труда обдумать, он делает мне те же упреки. Он находит, что мой способ получения кривой неточен и произволен. Я согласен, что он неточен и произволен, но тем не менее *это единственный возможный и правильный и достаточно точный для моей цели* — для проверки теории Дрепера. Он неточен, но эта неточность лежит в природе самого способа экранов, не дозволяющего получать данные для достаточно узких полос спектра. Если бы он был точен, стал ли бы я искать другого способа экспериментирования, прямо в спектре? Он произволен, потому что ординаты восставляются из средины соответствующей части спектра; но пусть доктор Ломмель приведет мне довод для того, чтобы их переместить вправо или влево. Повторяю, мой способ вычисления единственный правильный; никакой другой немыслим. Сам же Ломмель говорит, что сквозь жидкость действуют не отдельные лучи, а каждый раз известная сумма лучей. Действие этих сумм лучей (т. е. количество разложенной углекислоты), выраженное графически, представляет площади треугольников или трапеций.[1] Следовательно, опыт дает нам величины, изображающие площадь; для того, чтобы из этих данных получить величины для построения кривой, необходимо найти средние высоты этих фигур. Этого достигают, разделив полученную величину на протяжение соответствующей части спектра и принимая полученное частное за ординату.[2] Другое дело, когда опыт производится прямо в спектре; тогда делителем является поверхность листа, но так как она везде одна и та же, то полученные величины могут быть прямо взяты за ординаты. Для доктора Пфеффера этого различия не существует; он везде обозначает результаты одним и тем же образом; действует ли он половиной спектра

[1] В одном только случае, именно там, где лежит maximum, фигура будет пятиугольная; здесь и будет ошибка, состоящая в том, что maximum будет менее действительного.

[2] Тем читателям, которые все еще сомневались бы в справедливости этого приема, могут указать на статьи Фраунгофера и Мюллера (физика).

или только узкой полоской, результат одинаково принимается за ординату. Само собою понятно, что употребленный мною способ вычисления результатов не в состоянии обнаружить каких-нибудь зубцов или долин, если они существуют в кривой; но невозможность этого лежит опять-таки в способе экспериментирования, а не в способе вычисления. Мне, разумеется, никогда не пришло бы в голову проверять теорию Ломмеля по способу экранов, но для проверки теории Дрепера он был вполне пригоден. Еслиб она была верна, то под моей зеленой жидкостью должно было бы разложиться, примерно, в 10 раз более, чем под красной,[1] а такое различие не могло бы быть ни извращено, ни скрыто при моем способе обозначения. Такое же рассуждение справедливо и относительно тепловой кривой. Следовательно, для моей цели мой способ вычисления был вполне *достаточно точен*. Затем повторяется другое возражение Пфеффера. Ломмель находит, что я произвольно отношу свои результаты к флинтгласовой призме и что, если бы я отнес их, напр., к дифракционному спектру, то подобного совпадения не оказалось бы. Говорить такие вещи простительно Пфефферу, но от физика я такого возражения не ожидал. Неужели Ломмель не понимает, что если я перечислю свои результаты на дифракционный спектр, то обе кривые изменятся соответственно и отношение останется то же. Или он полагает, что в дифракционном спектре распределение теплоты будет то же, что и в призматическом? Можно сказать наоборот, что в дифракционном спектре совпадение должно быть еще ближе, так как оба maximum'а должны лежать в видимой части спектра. После такой неудачной критики моих приемов, Ломмель переходит к результатам и здесь прежде всего извращает смысл моих заключительных слов. Он говорит:

[1] Для того, чтобы убедиться в этом, стоило только разделить всю площадь Фрауенгофера вертикальной чертой, восставленной около линии 35. Полученные таким образом две площади выражают количества света, проходящие через каждую жидкость.

Тимирязев приходит к заключению, что *разложение пропорционально тепловому напряжению;* между тем как я, именно наоборот, говорю: хотя опыты этого не доказывают, но делают это предположение вероятным. Навязав мне такое резкое заключение, Ломмель его опровергает тем фактом, что темные лучи не действуют. Но почему же я выразился, что мои опыты не доказывают положения в его общей форме. В пределах опыта (т. е. в пределах видимого спектра) это соотношение было ясно, и если я сделал оговорку, то очевидно только ввиду отсутствия фактов относительно действия темных лучей. И не я ли указал на необходимость прямых опытов в этом отношении? Я только отрицал и отрицаю убедительность опытов с раствором иода в сернистом углероде, не исследованном посредством термомультипликатора.

Как бы то ни было, доктор Ломмель в заключение формулирует свое мнение таким образом: «с нашей точки зрения, Тимирязев высказал только половину истины», т. е. разумея второе его положение — о прямом отношении между разложением и живой силой луча. Ни на что более моя работа и не имела притязания.

Итак, если мы подведем итог, то оказывается, что первое положение Ломмеля было высказано Гельмгольцем и еще яснее Жаменом; второе, по признанию самого Ломмеля, высказано и фактически проверено мною. За доктором Ломмелем, во всяком случае, остается большая заслуга сопоставления этих двух положений и ясного, точного их формулирования, при котором они взаимно объясняются и пополняются. При этом я должен сознаться, что хотя мнение Жамена и было мне давно известно, но оно мне представлялось невероятным, пока (в 1869 году) я не познакомился ближе с оптическими свойствами хлорофилла. Это обстоятельство было даже одной из причин, побудивших меня предпринять исследование этого тела. В самом деле, когда о спектре хлорофилла имелось такое представление, что он состоит из 5 разрозненных абсорбционных полос, чередую-

щихся со светлыми промежутками, то можно было ожидать, что и процесс разложения в спектре будет прерывчатый, т. е. места энергического разложения будут чередоваться с местами, где его вовсе не будет.[1] Только тогда, когда при помощи введенного мною приема графического обозначения хлорофиллового спектра я получил ясное представление о законе поглощения света этим веществом,— мысль Жамена представилась мне с большею степенью вероятности. Она являлась бы объяснением, почему разложение не простирается за пределы видимого спектра. Только из моих изображений стало видно, что общее очертание фигуры поглощения — треугольник, с вершиною между B и C, и что следующие линии представляются только выступами, зубцами на краю этой фигуры. При такой форме поглощения понятно, что второстепенные maximum'ы могли ускользнуть от наблюдения.[2]

Далее в своей статье Ломмель делает перечень всех работ по этому вопросу и все, несогласные с его теорией, почти голословно отрицает; только касательно работы Дрепера приводит возможное, но мало вероятное и, после указанной нами погрешности его приема, уже излишнее объяснение. Он говорит: «Легко могло случиться, что абсорбционная полоса пришлась между первой и второй трубкой, следующие же на второй и третьей»; это предположение не объясняет, почему maximum пришелся в четвертой, а не ранее; а главное, такая случайность могла представиться раз, но не три раза. Разделавшись с неблагоприятными для него работами, Ломмель останавливается на работе Мюллера, появившейся в промежутке между

[1] Такое предположение находилось бы в противоречии с опытом Дрепера, где трубки не всегда занимали те же места.

[2] Делая это замечание, я не имею желания оспаривать у Ломмеля права на первенство, да если бы я и желал, то не имею на то возможности. Я хотел только заявить, что пришел к подобному заключению не вследствие статьи Ломмеля, которая к тому же этого пункта не выясняет.

первой и второй статьей Ломмеля. К этой замечательной и любопытной по своим результатам работе мы и переходим.

Мюллер первый вернулся к способу Дрепера, т. е. к исследованию явления непосредственно в спектре. Его работе можно сделать один, по правде, веский упрек, что он оставляет читателя в полном неведении относительно употребленных эвдиометрических приемов и таким образом лишает возможности критически отнестись к результату. К этому важному недостатку присоединяется другой, менее важный,— сбивчивость, а иногда и прямое противоречие в изложении. Так, напр., в одном месте он говорит: «Вскоре убеждаешься, что при подобных опытах не может быть и мысли о разложении углекислоты. Тем не менее они имеют свою цену», т. е., как он объясняет ранее, о действии света можно судить по относительному количеству не разложившейся, а *образовавшейся* углекислоты. А затем, в дальнейших опытах оказывается, что она разлагалась. В другом месте, говоря о том значении, которое имели бы абсорбционные линии хлорофилла для определения положения трубок с листьями, он говорит: «Если бы это лежало в его (экспериментатора) власти, то он мог бы ими воспользоваться, как в оптике и при спектральном анализе пользуются фрауенгоферовыми линиями». А затем, в последнем опыте, он уже пользуется этими линиями. Очевидно, все это объясняется поспешностью опытов, в течение которых экспериментатор совершенствовал свои приемы, [1] и такою же поспешностью редакции, вызываемой, вероятно, опасением, чтобы кто-нибудь не опередил его работы.

Но если мы сами лишены возможности судить о степени точности результатов, то, с другой стороны, предшествующая деятельность автора, обнаруживающая в нем знание дела и несомненное искусство экспериментатора, может служить ру-

[1] Смягчающим обстоятельством является еще время года, когда производились опыты — именно в сентябре. Экспериментатор, очевидно, торопился получить результаты, чтобы не отложить работу на год.

чательством, что он сам в состоянии судить, заслуживают ли полученные им результаты доверия или нет.

Спектр получался при помощи обыкновенного ручного гелиостата (porte-lumière), цилиндрической линзы, двух призм с сернистым углеродом [1] и еще линзы. В полученный спектр выставлялась батарея из трубочек, заключавших смесь воздуха и углекислоты, и листья или отрезки листьев, одинаковой поверхности. О степени яркости и чистоты спектра нельзя судить, так как неизвестна ширина щели. В одном случае, однако, он был очень чист, потому что показывал линии D и C. Брался газ, содержавший углекислоту, и определялось в нем содержание газов, непоглощаемых гидратом кали. Такое же определение производилось, по окончании опыта, над газами всех выставленных в спектре трубочек. Прибыль в непоглощаемых газах показывала появление кислорода, убыль — появление углекислоты (образовавшейся на счет кислорода). Вот и все подробности, которые сообщаются об анализе. Неизвестно, как производились измерения таких малых количеств газа, а что они были малы, можно заключить из того, что опыт длился всего 2—4 часа. Результаты 7 опытов между собою согласны. Везде оказалось, что *maximum разложения лежит, примерно, между B и C или немного правее C*. А в двух опытах удалось даже показать второй maximum, соответственно второй абсорбционной полосе. Мюллер указал на согласие его результатов с моими в том отношении, что уже мне было известно постепенное повышение кривой в красной части спектра, но несовершенство моего метода не дозволило мне убедиться в быстром понижении кривой в этой части спектра[2]. С кривой же Пфеффера не оказалось никакого сходства.

---

[1] Вторая призма, по моему мнению, без нужды ослабляла свет.

[2] Не следует упускать из виду, что на основании теории Ломмеля, при получении ординаты для красной жидкости в моих опытах должно

Таковы результаты этой любопытной работы, вновь вернувшей исследование на путь, указанный Дрепером, но избежавшей, повидимому, в значительной степени неточностей, которыми страдали исследования последнего. Если бы не полная неизвестность, в которой Мюллер оставляет читателя относительно метода анализа, то его работу можно было бы признать окончательно разрешающею вопрос о положении maximum'a разложения в спектре.

Ломмель приветствовал в этой работе полное подтверждение своей теории; зато критики ботанической газеты, превознесшие работу Пфеффера, прошли ее молчанием — будто ее и не было.

В подтверждение своего взгляда, Ломмель произвел еще следующий опыт, хотя не особенно убедительный, но зато очень наглядно показывающий резкое различие в действии лучей, рядом лежащих, именно лучей, лежащих между A и B и между B и C.

Он выставил два проросших бобовых растения под клетками, состоявшими из двух комбинаций цветных стекол, им предложенных для двух приборов, названных им эритро- и меланоскопом. Одна из этих комбинаций, состоящая из кобальтового стекла и красного (окрашенного закисью меди), пропускает только крайние красные лучи, от A до B. Другая, состоящая из красного и фиолетового стекол, пропускает только средние красные лучи. По прошествии недели под первым получилось растение хилое, желтое, с неразвитыми листьями, под вторым — столь же нормальное, как и выросшее рядом в рассеянном свете.

Пфеффер находит, что этот опыт к делу не относится, но это несправедливо. Показывая, какое резкое различие существует в действии лучей, рядом лежащих, из которых одни поглощаются, другие не поглощаются хлорофиллом, этот опыт уве-

делить не на все протяжение, как я делал, а только на ту часть красных лучей, которая поглощается; тогда ордината еще значительно увеличится.

личивает вероятность теории Ломмеля. По теории Пфеффера, такого резкого различия не должно бы существовать.

Хотя немецкие ботанические критики почли излишним даже упомянуть о работе Мюллера,[1] но тем не менее она не могла не произвести тревоги между защитниками противной теории. Факту разложения углекислоты давалось строго научное объяснение и при том не на основании одних теоретических соображений, а на почве опыта. В таком положении дело нельзя было оставить; и вот, весною следующего же года, Пфеффер выступает с новой работой, победоносно разбивавшей Мюллера и ставившей учение о «случайном» или «чудесном» совпадении, провозглашенном профессором Саксом, вне всякого сомнения. Таков, по крайней мере, как мы видели, приговор немецкой критики, считающей работу Пфеффера последним словом науки по этому вопросу.

Разбору этой работы и мнения о ней Сакса мы уделим последние страницы этой главы и тем закончим наш критический очерк.

Поразить Мюллера можно было только его же оружием. Пфеффер предпринял исследование непосредственно в спектре; но теперь ему не так-то легко было справиться с своей задачей. Может быть, наученный моим опытом, Мюллер скрыл свой прием исследования и Пфефферу на этот раз нельзя было воспользоваться готовым приемом; пришлось бы самому изобретать, а это оказалось не так-то легко. Пфеффер предпочел вернуться к заветному способу пузырьков, рискуя при этом получить результаты, прямо противоречащие его теории (как в первой своей работе). По счастью, способ, оказавшийся в первой работе негодным, на этот раз дал блистательный результат. Без всяких поправок, о необходимости которых Пфеффер

[1] До сих пор, кроме Ломмеля и Адольфа Майера, еще Шеллен (в немецком издании «Солнце» Секки) принял результаты Мюллера.

так красноречиво распространялся, когда результаты были неблагоприятны, получились такие благоприятные результаты, что кривая, составленная прямо из данных опыта, чуть не точка в точку совпадает с кривой Фрауенгофера. Один и тот же прием дает то дурные, то хорошие результаты. Очевидно, что способ, как и та теория, которую он доказывает, не подчиняется докучливому закону причинности. Он «случайно» может давать дурные результаты и так же «случайно» — хорошие. «Чудесная» теория подтверждается не менее «чудесным» опытом. Приводим, для сравнения, результаты обоих рядов, т. е. для первой работы, вычисленные по способу, принятому в этой работе, а для второй — прямо результаты опыта. Те и другие цифры показывают относительное число пузырьков, но, по мнению Пфеффера, в первом случае нет постоянного отношения между числом пузырьков и кислородом, во втором — количество кислорода можно считать пропорциональным числу пузырьков.

I

ДЕЙСТВИЕ ЛУЧЕЙ:

Красных и оранжевых	44,6
Желтых	37,9
Зеленых	12,1
Синих и пр.	19,2

II

ДЕЙСТВИЕ ЛУЧЕЙ:

Красных	25,4	(Среднее 44,6)
Оранжевых	63,0	
Желтых	100,0	
Зеленых	37,2	
Синих	22,1	
Индиговых	13,5	
Фиолетовых	7,1	

Цифры второго ряда, по Пфефферу, представляют полное сходство с кривой Фрауенгофера.

Не только доктор Пфеффер, но и никто после него, повидимому, не задал себе вопроса, как же согласить это противоречие. [1] Как объяснить себе, что явление совершается то так,

[1] Как уже замечено выше, особенно любопытно положение, которое попеременно принимал Сакс относительно своего метода. Вначале он был предложен им взамен более хлопотливых приемов, как мера (*als Mass*)

то иначе, не подчиняясь постоянному закону? Способ пузырьков, в том и другом опыте, остался тот же; здравая логика требует приписать изменения в результате изменившемуся условию, т. е. физическим приемам. Результаты различны и это различие следует приписать различию в физических приемах опыта. Если один из них точен, то другой не точен; одним из двух нужно пожертвовать. Таким образом неумолимая логика ставит Пфеффера в такое положение: или он должен сознаться, что способ пузырьков — способ капризный, ни на что негодный, и тогда его вторая работа падает сама собою; или, если он признает, что способ пузырьков годен, то тогда он должен сознаться, что один из употребленных им физических приемов негоден, потому что их результаты взаимно противоречат. Он должен принести свою первую работу в жертву второй, или вторую в жертву первой. Не знаю, который из двух исходов предпочтет сам доктор Пфеффер, но пока постараюсь показать, что неожиданный, блистательный успех его второй работы — не что иное, как вполне ожиданная и предусмотренная мною ошибка — ошибка, от которой я именно предостерегал в своей статье.

Щель, при опытах Пфеффера, была в три миллиметра шириною. Полученный таким образом спектр представляет только монохроматические края, средина же его должна представлять смесь налегающих друг на друга разнородных лучей. *При подобном спектре нельзя получить maximum'а разложения в красной части спектра, даже если эти лучи самые деятельные.*

выделяющегося кислорода. Затем, устами своего ученика Пфеффера, он утверждал, что имел в виду только *выделение газа*, без отношения к количеству кислорода, а опытами того же ученика было доказано, что число пузырьков и количество кислорода не пропорциональны между собою. Но после второй работы Пфеффера, он стал вновь утверждать, что способ этот *«als ich und Pfeffer gezeigt haben, selbst für feinere Messungen als Mass benutzt werden kann»*[9]. Истина, я полагаю, заключается в том, что способ этот пригоден для грубых целей, для которых он и был употреблен Дютроше, но не более. Мысль же сделать из него точный прием вполне неудачна.

Постараюсь выяснить это обстоятельство, по возможности, убедительным образом.

Что спектр был нечист, видно не только из размеров щели, но также из словесного описания доктора Пфеффера. Он говорит, что желтая часть спектра была так ярка, что казалась беловатой. Для того, чтобы ослабить неприятное впечатление этих слов, он тотчас приводит слова Гельмгольца, что всякий свет при значительной интенсивности представляется беловатым, что, напр., солнце, рассматриваемое чрез фиолетовое стекло, представляется почти таким же белым, как облако. Но отчего же доктор Пфеффер не приводит слов Гельмгольца, встречающихся несколькими строками ниже, что призматический желтый свет начинает казаться беловатым только при ослепительной яркости (erst bei blendender Helligkeit). Едва ли Гельмгольц употребил бы подобное выражение, говоря о спектре, проложенном на экране. Вместо того, чтобы прибегать к этому, не относящемуся к делу месту из сочинения Гельмгольца,[1] доктор Пфеффер лучше попробовал бы, что выйдет, если еще немного открыть щель. Всякий, имеющий элементарные сведения по физике, знает, что в результате получилась бы белая полоса с красным и синим краем. Почему же доктор Пфеффер объясняет приближение желтых лучей к белому цвету увеличением интенсивности света (обстоятельством, увеличивающимся в одинаковой степени для всех лучей), а не смешением лучей? Не подлежит сомнению, что желтые лучи *не казались, а были* белыми. Но доктор Пфеффер сам ожидал это возражение и думает отразить его следующим софизмом. Он говорит: если даже спектр не был чист, то это нисколько не мешает убедительности опыта, в случае, если он благоприятен для его теории. Вот ход его аргументации: по его теории, наиболее энергично действуют в этом процессе желтые лучи, менее энергично

---

[1] Я полагаю, Гельмгольц не мало удивился бы, услыхав, что эти его слова применяются к спектру, полученному при помощи щели в три миллиметра.

красные. Но при смешении лучей, в нечистом спектре, к менее энергичным красным лучам будут присоединяться более энергичные желтые, к более энергичным желтым — менее энергичные красные, следовательно, и те и другие будут в условиях неблагоприятных для его теории и, следовательно, если он получит в этом спектре утвердительные результаты, то не благодаря, а вопреки нечистоте спектра. Это место я имел

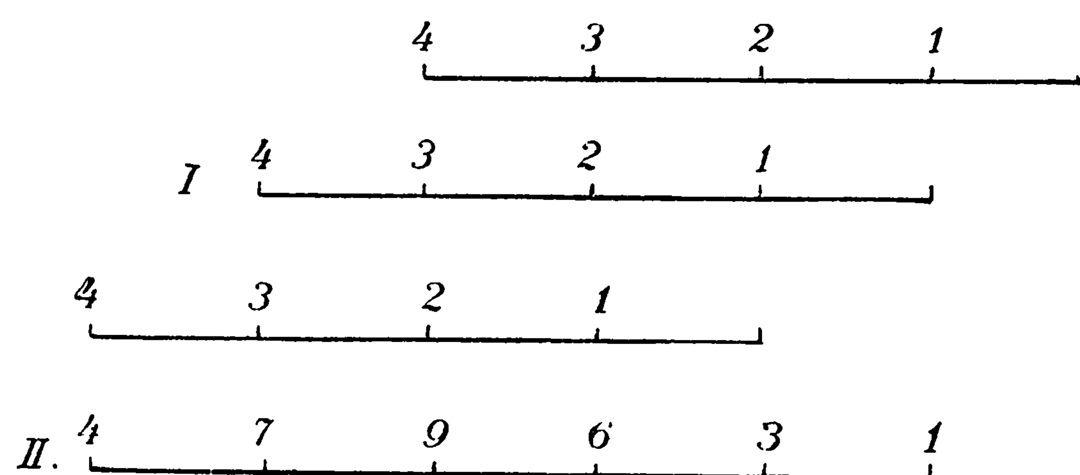


Рис. 3.

в виду, говоря в первой главе, что не знаешь чему удивляться, отсутствию ли знаний у доктора Пфеффера, если он сам верит этим словам, или презрительному мнению о читающей публике, если он им не верит.

Несостоятельность этого софизма очевидна уже из того факта, что при увеличении щели края все же остаются монохроматическими, а средина более и более приближается к белому. Ясно, что смешение цветов происходит в пользу средних частей спектра, а не наоборот, как утверждает Пфеффер.

Всякий нечистый спектр можно себе представить состоящим из нескольких чистых. Щель в три миллиметра можно рассматривать, как три щели, каждая в один миллиметр шириною. Каждая треть даст свой отдельный спектр, один будет занимать средину (I), другой будет сдвинут вправо, третий — влево. Предположим, что в каждом чистом спектре разложение углекислоты происходит так, как оно оказалось в моих опытах

и в опытах Мюллера, что и означим цифрами 4, 3, 2, 1, убывающими от красного конца к синему.

Посмотрим, что же представит наш нечистый спектр (II), образовавшийся чрез наложение трех чистых. Во-первых, он будет длиннее, в нашем (схематическом) случае на $^2/_3$. Во-вторых, в средине его будут лучи трех родов, следовательно, свет будет почти белый. В-третьих, maximum разложения переместится. Простое сложение показывает, что он будет лежать уже не с краю, а в средине. Следовательно, нечистота спектра имеет своим последствием перемещение maximum'а из красной части в желтую.

Но против такого толкования его опытов у Пфеффера имеется наготове кажущееся опровержение. В некоторых опытах, при определении положения своих приборов, он прибегал к абсорбционной полосе хлорофилла. Одно из определений числа пузырьков производилось в части спектра, соответствующей этой полосе. Производимый таким образом опыт дал, как и другие, maximum в желтой части, а не в части, соответствующей этой полосе. Вот, рассуждает Пфеффер, вы утверждаете, что разложение наиболее энергично там, где наиболее энергично поглощение света хлорофиллом, а опыт дает совершенно противоположный результат.

Но и это только софизм; правда, менее прозрачный, чем предыдущий, но также без труда разоблачаемый. Софизм этот заключается в распространении понятия, верного для чистого спектра, на спектр нечистый. Если относительно спектра чистого очевидно, что поглощение известных лучей обнаруживается появлением абсорбционных полос, и что степень поглощаемости выражается чернотой полос, то распространять это положение на спектр нечистый несправедливо. В нечистом спектре поглощаемость известных лучей и видимость абсорбционных полос, соответствующих этому поглощению,— две вещи совершенно различные. *В нечистом спектре даже очень сильное поглощение может не сопровождаться по-*

явлением абсорбционной полосы, т. е. может остаться невидимым.

Постараемся это доказать и на этот раз уже не на схематическом, а на действительном примере.

Возьмем раствор хлорофилла в сосуде с параллельными стенками, поместим его перед щелью спектроскопа и откроем ее как можно шире, но так, чтобы главная абсорбционная черта была отчетливо видна. Измерим ширину щели[1] и затем,

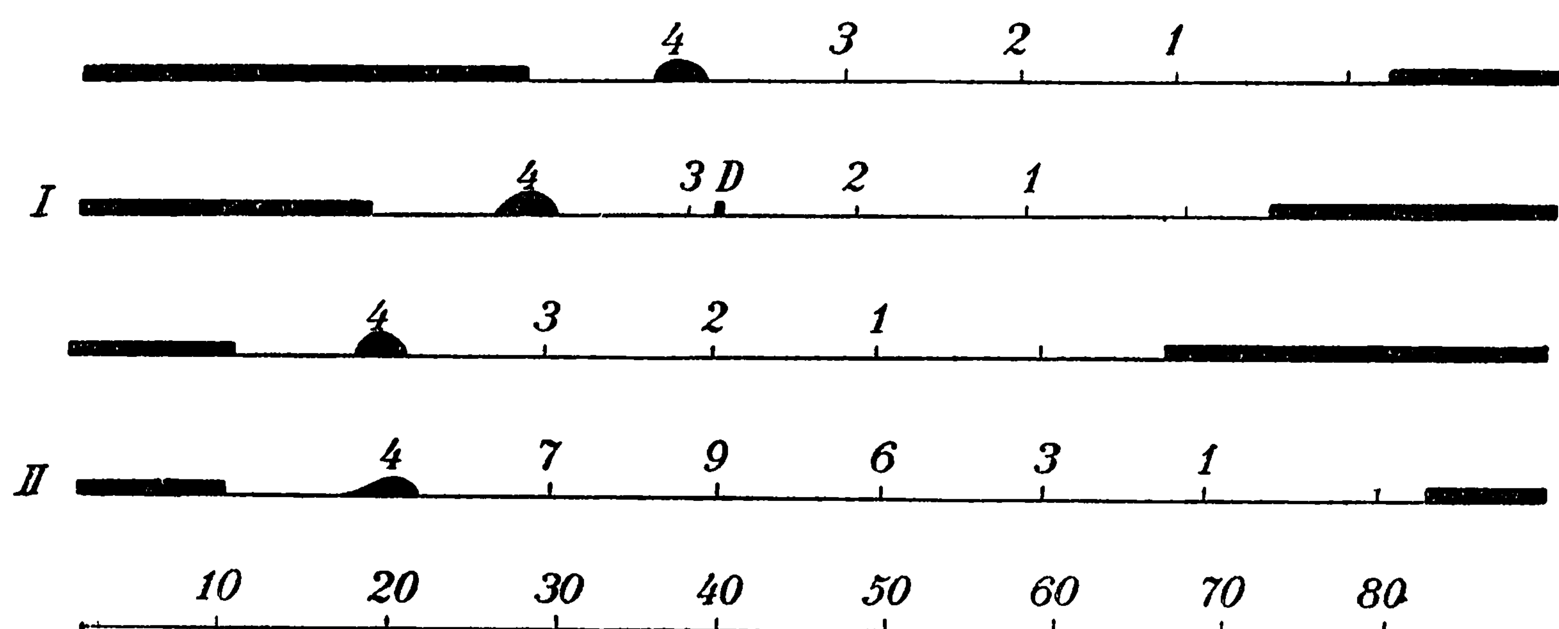


Рис. 4.

заслоняя попеременно по две трети щели, определим вид и положение спектров, соответствующих правой, левой и средней части щели. На прилагаемой фигуре изображены все три спектра, один под другим.

Каждому спектру соответствует своя абсорбционная полоса, занимающая различные места скалы. Откроем теперь щель во всю ширину; получим более длинный спектр с одной крайней чертой. Другие две не видны, как это легко понять. Хотя в местах им соответствующих красные лучи поглощены, но место их заступают оранжевые или желтые лучи других спектров. Итак, поглощение несомненно существует, но мы о нем не

[1] Я это делаю очень просто: привожу щель в горизонтальное положение, а скалу в вертикальное, тогда деления последней мне служат мерой. В описываемом примере щель была раскрыта почти на 2 мм.

знаем, так как не видим полос. Сопоставим оба только что доказанные нами положения и мы придем к окончательному заключению, что *в нечистом спектре maximum разложения не может совпадать с абсорбционной полосой, а должен лежать ближе к желтой или в самой желтой части спектра*. Сделав такое же сложение, как в первом примере, убедимся в справедливости сказанного. После этого, мне кажется, становится вполне ясным, что Пфеффер не только мог, но должен был получить тот ошибочный результат, к которому он пришел. Совпадение не является уже случайным, а вполне понятным; у него, как и у Дрепера, был не желтый, а почти белый свет, а понятно, что действие суммы должно быть сильнее действия любого из слагаемых.

Рождается еще вопрос: в состоянии ли приводимое рассуждение объяснить ошибку Пфеффера количественно, т. е. достаточна ли велика была ошибка Пфеффера, чтобы он мог получить такие, уклоняющиеся от истины, результаты? Некоторые цифры, приведенные Пфеффером, заставляют полагать, что да. Пфеффер говорит, что при увеличении щели длина спектра изменялась на 30 миллиметров. На такое же, примерно, расстояние должен был сместиться и maximum разложения.

Итак, вопреки мнению немецкой критики, последняя работа Пфеффера никак не может быть признана «оконченным» опровержением работы Мюллера и моей, так как она ровно ничего не доказывает, и если эти критики не усмотрели указанных противоречий и ошибок, то это можно объяснить только их близорукостью и преклонением пред авторитетом Сакса, взявшего работы Пфеффера под свое покровительство. В двух последних изданиях своего руководства он следующим образом относится к этому вопросу. Упоминая о результатах работы Дрепера и первой работе Пфеффера, он затем переходит ко второй его работе, о которой выражается следующим образом: «После того, как Пфеффер *показал*, что употребленный мною метод измерения действия света на водяные растения,

по числу выделяющихся в единицу времени пузырьков, дает результаты *существенно сходные* с объемным определением газов, с тем только различием, что величины несколько более действительных и при том сравнительно тем более, чем слабее выделение газа, он принял этот метод и пр.». Нужно только удивляться той смелости, с какой профессор Сакс утверждает, что отношение 32 : 46 *существенно сходно* с отношением 44 : 37, и что Пфеффер *показал*, что увеличение числа пузырьков от побочных причин должно совершаться именно, как того требует их теория. Затем Сакс указывает, что результаты второй работы еще лучше согласуются с кривой Фрауенгофера. Далее, для того, чтобы избежать заблуждений, к которым может привести такое сопоставление кривых, кривой разложения и кривой световой (очевидно, намек на заблуждение Прильё и Баранецкого), Сакс пытается выразить выделение кислорода, как *функцию длины волны*. Но и эта мысль, законная в основании, приводится в исполнение вполне незаконным образом, опять-таки по недостатку физических сведений. Профессор Сакс, очевидно, не понимает, что для того чтобы уловить связь этого явления с длиною волны, нужно прежде всего знать, какую форму примет кривая в нормальном спектре. Ему, повидимому, неизвестно, что интенсивность явления в призматическом спектре может зависеть от двух причин: от специфических свойств луча (его длины, амплитуды?) и от степени дисперсии или скученности лучей в различных лучах спектра. Так, наприм., если бы волны красного света оказывали в действительности менее энергическое действие, чем волны желтого света, то, несмотря на это, в спектре красные лучи могли бы оказывать равное или большее действие, чем желтые, так как они более скучены. Итак, прежде чем говорить о разложении углекислоты, как функции длины волны, нужно знать, какой вид примет кривая в спектре дифракционном. Саксу подобное соображение, очевидно, и в голову не приходит. Полученными посредством такого сомнительного приема циф-

рами он пользуется для подтверждения другого любимого метафизического закона, который я назову, за неимением другого названия, законом «златой средины», примененным к физическим явлениям. Если выразить длину волны в стотысячных долях миллиметра, то разложение начнется при длине в 39, достигнет своего maximum'а при длине в 59, прекратится при 68. Таким образом, говорит Сакс, мы видим, что разложение возрастает с длиной волны до известного предела и затем падает точно так, как, напр., некоторые функции растения ускоряются с повышением температуры до известного предела, а за этим пределом замедляются. Далее, в примечании Сакс поясняет, что, вероятно, подобному же закону следует и впечатление сетчатой оболочки глаза — отсюда и соответствие между обоими явлениями.

Против такого воззрения, или даже способа выражения, можно возразить, что они в существе своем не научны, не логичны. [1] Между простым явлением и тем, что мы называем его причиной может существовать только одно отношение — прямое или обратное. Одно не может превратиться в другое. Если мы встречаем на опыте противоречие этому правилу, то приходим к заключению, что или явление сложно, или оно зависит от нескольких причин. Коль скоро мы обнаруживаем что-либо подобное, мы тотчас стараемся глубже анализировать явление, разложить его на его составные части. Таким образом, убедившись, что свет действует на какое-нибудь изучаемое нами явление сначала ускоряющим, затем угнетающим образом, мы тотчас приходим к заключению, что одновременно совершается два явления, из коих одно находится в прямом, другое в обратном отношении с этой силой, и maximum изучаемого

[1] Способ выражения: такое-то явление (рост, движение, дыхание и проч.) зависит от такой-то силы (света, тепла и проч.) *среднего напряжения*,— очень часто употребляется, безо всякой оговорки, относительно его настоящего смысла, почему я нахожу нелишним остановиться несколько долее на этом понятии.

явления будет соответствовать той точке, где оба составляющие его процесса уравновешиваются. Следовательно, встретившись с таким явлением, мы логически вынуждены признать его сложным и не вправе остановиться на таком объяснении, каким довольствуется Сакс. Выраженное в такой форме, как это делает Сакс, оно представляется как бы последним выражением факта, чем-то окончательным, на чем ум может успокоиться; каким-то метафизическим законом благотворного влияния средних напряжений. Наконец, самое выражение: «среднее напряжение» вводит ложный взгляд: среднее между чем? Указывать же, как это делает Сакс, на аналогию, на подтверждение этого метафизического закона влияния средних напряжений в различных явлениях растительной жизни, значит только указывать на то, что все эти явления — сложные. Аналогия эта нисколько не плодотворна, ничего не подтверждает. Далее, объяснение сходства явлений в растении и в глазу объясняет только повышение и понижение кривой, но нисколько не объясняет (допуская, что факт был бы верен) причины совпадения точек maximum'а и пределов.[1]

Итак, соображения Сакса об отношении между длиною волны и разложением углекислоты произвольны, так как мы не обладаем необходимыми для того фактическими данными, и приводятся в подтверждение какого-то смутно сознаваемого

[1] Весьма возможно, что и относительно акта зрения справедливо развиваемое выше воззрение, т. е. что и здесь причина видимости и яркости лучей сложная, что возрастание и уменьшение действия на глаз и оба предела видимости зависят от различных причин. Интенсивность светового впечатления может зависеть от двух причин: от амплитуды (т. е. правильнее ее квадрата) и времени колебания (т. е. длины волны). Весьма вероятно, что амплитуда волн различных цветов различна, т. е. более значительна для волн большей длины, менее значительна для волн меньшей длины. Тогда, очевидно, обе причины возрастают и убывают в противоположных направлениях. Таким образом, с одной стороны, в спектре впечатление может убывать, потому что удары не довольно часты, с другой, потому что они не довольно сильны, хотя и часты.

метафизического закона, не имеющего определенного научного смысла.

О работе Мюллера Сакс упоминает только в примечаниях; в одном он говорит, что она выставлена Пфеффером в настоящем свете, а в другом высказывает презрительное мнение о степени доверия, ею внушаемого, мнение, уже приведенное нами в первой главе.

Такова окончательная точка зрения главы современной физиологической школы относительно занимающего нас вопроса.

Постараемся, по возможности, подвести итог этой длинной критике.

Из всего здесь сказанного должно притти к заключению, что касательно изучаемого нами явления между учеными существует разногласие, как в отношении теоретических воззрений, так и в отношении факта.

Теоретические взгляды представляют следующие три логические ступени. Одни желают и пытаются дать явлению рациональное объяснение и для этого стараются подвести его под общие механические представления об отношении между затраченной силой и произведенной работой (Р. Майер, Гельмгольц, Дрепер, Жамен, Тимирязев, Ломмель и Мюллер). Другие, не находя рационального объяснения фактам и даже, повидимому, не пытаясь найти его, тем не менее признают, что найденная из опыта связь явлений — действительная, причинная связь (Прильё, Баранецкий). Третьи, наконец, принимая найденную из опыта связь явлений за факт, не только не пытаются дать ему рациональное объяснение, но даже отрицают причинность этой связи и объясняют ее «случаем» или, выражаясь их же словами, «чудом» (Сакс, Пфеффер).

Разногласие фактическое в настоящее время сводится к следующему:

Одни наблюдатели утверждают, что кривая, выражающая интенсивность процесса в спектре, повышается с фиолетового

конца к красному (Тимирязев) и здесь быстро опускается, представляя maximum разложения между B и C и второстепенный maximum около D (Мюллер). Эти факты, таким образом, указывают на связь явления с энергией луча и его поглощением.

Другие наблюдатели утверждают, что кривая разложения совпадает с кривой Фрауенгофера, выражающей напряжение света (Дрепер, Пфеффер), и что это сходство в действии света на растения и на глаз оправдывается и при действии смешанного света, различного цвета, но одинаковой яркости (Прильё, Баранецкий).

Сделаем теперь оценку убедительности результатов всех описанных нами опытов по отношению к главному разногласию, т. е. преобладающему значению красных или желтых лучей.

1) Исследования Дрепера, произведенные почти сорок лет тому назад, представляют существенный недостаток в том, что спектр был крайне нечист, и потому не разрешают вопроса, так как могут быть объяснены в смысле одинаково благоприятном как для той, так и для другой теории.

2) Опыты Кальте не дозволяют сделать никакого определенного вывода, но могут быть объяснены и в пользу преобладающего значения красных лучей. В пользу воззрения о значении лучей, поглощенных хлорофиллом, говорят еще опыты с зелеными стеклами, согласные со всеми другими опытами, произведенными с зелеными средами.

3) Моя работа говорит в пользу преобладающего действия красных лучей и решительно противоречит теории Дрепера. Ни одного из указанных Пфеффером и Ломмелем недостатков в моей работе не существует; все их возражения основаны на недостаточном знании дела.

4) Результаты аналитической части первой работы Пфеффера говорят за теорию Дрепера. Но немаловажные экспериментальные ошибки, а главное, неправильное и (сознательно или бессознательно) пристрастное вычисление результатов возбуждает основательные сомнения в степени их убедительно-

сти. Тем не менее, нельзя указать на одну какую-нибудь выдающуюся ошибку, которая бы могла объяснить полученные результаты; но случайная ошибка могла бы их объяснить. Опыты его с раствором хлорофилла говорят в пользу теории, приписывающей преобладающее значение лучам, поглощаемым этим телом.

5) Результаты опытов с пузырьками произвольно толкуются Пфеффером в свою пользу; до сих пор они говорят против него. Способ пузырьков может употребляться только для таких, сравнительно грубых, целей, для каких он был употреблен Дютроше. Это прием (если можно так выразиться) эвдиоскопический, а не эвдиометрический.

6) Опыты Прильё, логические по своей исходной мысли, фактически опровергнуты Дегереном.

7) Работа Мюллера подтверждает значение поглощения света хлорофиллом. Она развивает результаты моей в том, что обнаруживает и объясняет предел разложения в крайних красных лучах. К сожалению, автор почел нужным умолчать о своих приемах исследования и тем отнял у читателя возможность составить собственное суждение о его убедительности.

8) Вторая работа Пфеффера находится в противоречии со второй частью первой, а согласие ее с работой Дрепера объясняется присутствием той же экспериментальной ошибки. Следовательно, она ничего не доказывает.

3. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

> Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nötigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Causalzusammenhang zu bringen.
>
> *J. R. Mayer.* Die Mechanik der Wärme.[1n]

Из критического обзора, приведенного в предшествовавшей главе, вытекает, что для экспериментального разрешения занимающего нас вопроса исследователю представляются два пути, два способа исследования: способ цветных экранов и способ спектра. Тот и другой представляют свои выгоды и свои невыгоды. При первом способе свет очень мало ослаблен, и потому количества разлагающейся углекислоты настолько значительны, что легко поддаются анализу. Но этот способ, удобный с точки зрения химических приемов, не точен с точки зрения оптической, и по следующим причинам: 1) определение границ частей спектра, пропускаемых средою, не точно; 2) определение степени поглощения света в тех частях спектра, которые пропускаются средою, не точно.[1] На основании этих двух соображений наблюдатель не в праве заключить, что между уединен-

[1] Приемы, предложенные Фирордтом, делают эту задачу в настоящее время более возможной; тем не менее определение суммы поглощенного света на известном протяжении спектра крайне хлопотливо и все же не очень точно. Во всяком случае эти хлопотливые определения становятся излишними, если является возможность работать прямо со спектром.

ными таким образом частями спектра сохраняется то же отношение, какое существует между ними в спектре; 3) обе изложенные причины неточности увеличиваются с уменьшением полосы спектра, пропускаемой экраном, и потому уединение таким путем узких полос спектра оказывается окончательно невозможным. Все три причины, в особенности последняя, устраняют возможность точного определения, при помощи экранов, положения maximum'а разложения и сообщают вычисленным результатам известную долю неизбежной произвольности.

Способ спектра вполне точен с оптической точки зрения; действие каждого луча зависит от его специфических свойств.[1] Точность определения положения ординат зависит от ширины взятого листа или части листа, и следовательно, вполне удовлетворяет имеющейся в виду цели. Зато химическая сторона дела сопряжена с значительными трудностями. Наблюдателю представляется дилемма. Если он будет работать в чистом спектре (т. е. полученном при помощи узкой щели), то свет будет значительно ослаблен, а следовательно, будет ослаблен и химический процесс, и количества газа будут слишком малы для исследования.[2] Если же, расширив щель, он увеличит яркость спектра, то тем уничтожит его чистоту, а следовательно, лишит свои результаты той точности, которая составляет преимущество этого способа.

Итак, этот способ *точен* с оптической точки зрения, но *неудобен* с точки зрения химических приемов.

Все препятствие заключается в затруднительности анализа малых количеств газа.

Это затруднение и заставило Пфеффера вернуться к способу пузырьков, а Саксу внушило самоуверенно-презрительную фразу по поводу работы Мюллера: что люди, сведущие в этом деле, знают, что следует думать о подобных исследованиях.

[1] А также и дисперсии; об этом см. ниже.

[2] Разумеется о способе пузырьков при точном исследовании не может быть и речи.

Профессор Сакс, однако, напрасно думает, что препятствие это непреодолимо. Правда, готового способа в науке не существовало; химикам и физикам не представлялось, повидимому, надобности в анализе таких малых количеств газа, вот и вся причина, почему такого способа не существовало, и это не доказывает, что его нельзя придумать и что следует бросить мысль о точном исследовании и проверять результаты точного способа способом неточным, как это делает Пфеффер.

Итак, вся задача состоит в том, чтобы, не увеличивая ширины щели, получить возможно более света и затем вооружиться способом анализа малых количеств газа, столь же точным, как тот, который употребляется для анализа больших количеств.

Первое условие осуществляется употреблением гелиостата с возможно большим зеркалом. Я работал с гелиостатом Зильбермана, сначала малого, потом большого размера (grand modèle), работы Дюбоска.

Для выполнения второго условия пришлось придумать новый прием анализа газов, или, вернее, прием обращения с ними.[1]

Для точного измерения малых количеств газа, их нужно измерять в сосудах, в трубках малого калибра. Я поставил себе целью определять от 0,001 до 0,0001 долей кубического сантиметра. Такие количества могут быть удобно измеряемы не иначе, как в трубках с внутренним диаметром в 2—3 миллиметра. Но понятно, что переливание газа без потери из таких сосудов или в такие сосуды, при обыкновенно употребляемом способе вытеснения под ртутью, фактически невозможно. Прежде чем придумать способ перемещения малых количеств газа, нужно было выбрать какую-нибудь из известных систем газового анализа. Способ Дойера, дозволяющий употребление жидких

[1] Не стану описывать всех испробованных мною приемов; скажу только, что они были многочисленны. В том числе мною был проектирован и способ тождественный с тем, который употреблен теперь Майером и Волковым, но был покинут, как представляющий только воображаемую чувствительность.

реактивов и, благодаря его регулятору, избавляющий исследователя от скучного механического труда барометрических и термометрических наблюдений и поправок, по моему мнению, наиболее совершенный из современных способов; на нем я и остановился. Этот способ, сверх указанных только что достоинств, удовлетворяет еще основному требованию эвдиометрии: газ всегда находится в глухих сосудах и не встречает на всем пути ни кранов, ни замазки.[1] К тому же этот способ доставляет полную свободу в обращении с газами, чего не дозволяют другие способы.[2]

Остановившись на способе Дойера, я тем самым избрал пипету Этлинга, видоизмененную Дойером, Бертло и Девилем, как прибор для перемещения газов. Прямо применить ее к моей цели не было возможности. Пипета, как известно, даже при некоторой ловкости и опытности, очень хрупка. Ее носик (bec), вводимый в эвдиометр или какой другой сосуд, весьма легко разбивается даже тогда, когда сосуд этот представляет внутренний диаметр в $1\frac{1}{2}$ сантиметра (как у Дойера). Для трубок меньшего калибра она уже окончательно непригодна.

Мне пришла мысль вытянуть ее носик в тончайшую трубочку, которая могла бы свободно входить в эвдиометр потребного калибра, т. е. 2-х мм внутреннего диаметра. Но понятно, что при этом нельзя было сохранить общую форму прежней пипеты; при таком тонком носике, с ней невозможно было бы манипулировать в Дойеровой ванне: она разбилась бы при первой

[1] Не говоря уже о каучуке и затычках, как у Пфеффера.

[2] Так, напр., газ, однажды попавший в эвдиометр Бунзена, уже не может быть из него получен обратно; то же справедливо и относительно эвдиометра Реньо. Я нахожу излишним описывать подробности приемов Дойера, считая их известными. Пфеффер и Мюллер (в своих прежних статьях) представляют небольшие трактаты о газовом анализе вообще (по Бунзену), но я полагаю, что такое переписывание из всех известных сочинений напрасно обременяет текст работ, хотя, правда, сообщает им некоторый заимствованный блеск.

попытке. Тогда мне пришло в голову соединить пипету с ванной, и притом с ванной такого малого внутреннего диаметра, чтобы эвдиометр не мог в ней принимать положения не параллельного длине носика, чем устранялась бы возможность перелома последнего.[1] После нескольких попыток я остановился на следующей окончательной форме прибора, соединяющей все требования удобства и простоты.

Прибор этот можно назвать *автоматической пипетой-ванной*; главная цель его — сделать возможным перемещение, переливание самых малых количеств газа, хотя бы одного пузырька. Автоматичным его можно назвать в том смысле, что он избавляет от неприятного, а в некоторых случаях даже болезненного труда всасывания газов.[2]

Устройство прибора понятно из приложенной таблицы (табл. II, фиг. II и III). Ванна сделана из цилиндрической, в верхней части расширенной, трубки (лампового стекла). Нижний конец трубки заткнут каучуковой пробкой, для большей безопасности закрепленной посредством проволоки (и в таком случае стекло должно быть снабжено оплавленным краем, за который проволока может быть закреплена) или, еще лучше, посредством металлической оправы, состоящей из кольца с винтовой нарезкой, приделанного к стеклу, и кольцеобразной гайки, которая внутренним выступом своим придерживает пробку. Пробка снабжена двумя отверстиями: центральным и эксцентрическим. В центральное входит та часть прибора, которая собственно может быть названа пипетой, в эксцентри-

---

[1] Возможность этой случайности до того устранена в моем приборе, что, работая с одной пипетой в течение трех лет, я ни разу не разбил ее носика, между тем как всякий, работавший с пипетами Дойера, вероятно, знает, как недолговечен этот прибор.

[2] Всякому, обращавшемуся с пипетой Дойера и даже Бертло, вероятно, известно, что при продолжительной работе распухают и болят губы, а люди со слабой грудью даже подвергаются кровохарканию. Впрочем, пипета Девиля уже устраняет этот недостаток.

ческое — короткая, прямая трубочка, немного выдающаяся над внутреннею поверхностью пробки. Пипета имеет мало сходства с обыкновенной пипетой: она состоит из шарика с короткою нисходящею трубочкою и другою восходящею, дважды изогнутою. В восходящей трубочке третья вертикальная часть гораздо длиннее остальных и вытянута таким образом, что наружный диаметр менее 2 миллиметров. Нисходящая трубочка шарика и короткая трубка ванны соединяются каучуковыми трубками с трехконечной небольшой стеклянной трубочкой, третий конец которой соединяется также посредством каучуковой длинной трубки с воронкой. Обе короткие каучуковые трубки снабжены обыкновенными зажимами Мора.

Действие прибора состоит в следующем. Он наполняется таким количеством ртути, чтобы, когда ванна полна, воронка была пуста и наоборот. Воронку можно подымать или опускать на различную высоту, для чего служат два или три подвижных кольца, с выпиленными в них отверстиями. Подымая или опуская воронку, открывая тот или другой кран, можно заставить ртуть переливаться то через пипету, то прямо в ванну или, наоборот, из ванны в воронку, прямо или через пипету. Таким образом, одно и то же количество ртути, свободно обращаясь по всем направлениям в приборе, появляется в той его части, где оно оказывается нужным. Этим достигается одно из удобств прибора — экономия ртути.[1] Понятно, что, обладая возможностью по произволу оказывать давление на газ, заключающийся в сосуде, надвинутом на носик пипеты, то в том, то в другом направлении, мы легко и быстро переводим его из сосуда в пипету и обратно. Для этого только нужно попеременно опускать и подымать воронку, открывать и закрывать тот или другой зажим. При описанной форме пипеты для переведения газа из сосуда в сосуд нужно сначала из первого перевести газ в шарик пипеты, потом удалить этот

[1] Это зависит и от того, что ванна имеет ровно размеры эвдиометра; между тем как при манипуляциях в ванне Дойера нужен простор.

сосуд, и на его же место подвинуть второй, наполненный ртутью, в который и перегоняется газ из пипеты. Если пипета служит только переливателем газа (transvaseur), то ей можно придать и такую форму, как изображено на фиг. I, т. е. форму двух ванн, соединенных двуколенчатой трубкой с одним узким и одним широким восходящим концом. Действие прибора само собою понятно после сказанного о приборе первой формы. Третий конец трехконечной трубки, как и там, сообщается с воронкой. Я употреблял подобный прибор, когда нужно было быстро переводить газы из нескольких сосудов, но вообще предпочитаю первую форму.

Газовая пипета служит не только *переливателем* газов, но в то же время и прибором для обработки газов жидкими реактивами. Всем, кому знакомо действие обыкновенной пипеты, известно, что при употреблении жидких реактивов главное затруднение заключается в отцеживании газа, т. е. в отделении его начисто от реактива, причем, очевидно, газ должен быть вытеснен из пипеты таким образом, чтобы реактив остановился у самого отверстия носика. Если он остановится несколько ниже, то понятно, что часть газа останется в трубке, и перешедшее в эвдиометр количество газа будет менее действительного. Если капля реактива попадет в эвдиометр, то измеряемый объем будет выше действительного; притом поступление реактива в эвдиометрическую трубку сопровождается еще другими неудобствами.

Это регулирование истечения газа так, чтобы остановить давление ртути в должный момент, достигается у Дойера повышением или понижением эвдиометра над уровнем ртути в ванне и быстрым погружением носика пипеты под ртуть. При этой операции все же нередко случается, что реактив попадает в эвдиометр. Неудобства пипеты Дойера в значительной степени ослаблены введенным Бертло краном; но даже и в пипете Бертло трудно регулировать истечение газа. Для того, чтобы доставить экспериментатору возможную свободу и удобство

действия, я устроил свою реактивную пипету следующим образом (фиг. II).

Нижняя трубка шарика снабжена стеклянным краном, так как при каучуковой трубке и зажиме невозможно остановить реактив у самого выхода из пипеты. При зажимании трубки объем еще уменьшается, и выдавливается капля реактива; рассчитать же на каком расстоянии следует остановить реактив, чтобы остающийся невытесненным объем газа соответствовал поднятию ртути, вследствие действия зажима, также невозможно, потому что эта величина совершенно случайная. Для того, чтобы изменять давление ртути на реактив по возможности нечувствительно, я употребил следующее приспособление. Среднее кольцо статива утверждается на такой высоте, чтобы при известном наполнении воронки давление ртути не было достаточно для поднятия реактива до отверстия носика. При таком положении воронки можно открывать и закрывать кран без опасения внезапного, неожиданного выбрасывания реактива (что случается нередко при несоблюдении этой предосторожности). Дальнейшее увеличение давления ртути достигается уже не поднятием воронки (это движение слишком грубо), а постепенным ввинчиванием в ртуть стеклянного песта, вращающегося в гайке, сделанной в поперечной пластинке, которая лежит на краях воронки и закреплена проволокой. Понятно, что каждому обороту винта соответствует ничтожное поднятие уровня ртути в воронке, что и необходимо, так как ему соответствует поднятие столба реактива, превышающее его раз в десять. Таким образом наблюдатель, сохраняя полное хладнокровие,[1] может довести реактив до наружного отверстия носика пипеты и, не торопясь, закрыть кран. Я убежден, что исследователи, работавшие

[1] Чего не бывает при обыкновенной пипете, когда рот и обе руки заняты, глаза скошены на кончик пипеты и наблюдатель находится в постоянном страхе, что одним неосторожным движением может испортить анализ.

с пипетой Дойера, вполне оценят удобства и преимущества моей пипеты.

Опишу, в виде примера, все манипуляции при определении углекислоты.[1]

Положим, что газ находится в трубке, представляющей размеры обыкновенной пробирной трубки, и что газ требуется определить с точностью до 0,001 кубического сантиметра. Трубка берется за кончик Бунзеновским ухватцем, подхватывается железной ложечкой и погружается в ванну *переливателя*, верхняя часть которой сделана расширенною для облегчения движения ложки. Так как отверстие трубки широко, то легко ощупать под ртутью носик пипеты и надвинуть на него трубку, при чем избыток ртути можно спустить прямо в воронку, находящуюся в нижнем кольце. Затем стоит закрыть этот зажим и открыть другой, и газ почти мгновенно переходит в шарик пипеты и замыкается ртутью. Пробирную трубку удаляют и на место ее надвигают предварительно наполненную ртутью эвдиометрическую трубку.

Так как мне приходилось определять не только *абсолютно малые* количества газа, но в то же время и количества, составляющие *относительно* малую часть (т. е. малый процент) всего измеряемого объема,[2] то эвдиометру удобно было сообщить такую форму, как изображено на фиг. I табл. II (в средине). Он состоит из шарообразной части или, вернее, из цилиндрической, с закругленными основаниями, длинной узкой шейки и колоколообразно расширенного основания. Значение и форма этих частей понятны: расширенная верхняя часть дозволяет укоротить размеры эвдиометра, а, следовательно, и пипеты;

---

[1] Как уже сказано выше, я ограничиваюсь только описанием тех приемов и подробностей, которые введены мною; все остальное предполагаю известным и отсылаю читателя к работе Дойера.

[2] Известно, что разложение углекислоты происходит наиболее энергично, когда содержание ее не превышает 8%, как это показали опыты Соссюра и Добени, недавно подтвержденные Годлевским.

цилиндрическая ее форма (вместо шарообразной) дозволяет употреблять ванну возможно малого диаметра, а следовательно, вмещающую возможно менее ртути; узкая часть снабжена делениями и служит для измерения газа, с желаемою степенью чувствительности; наконец, нижняя, расширенная часть служит для помещения газа, вытесняемого из эвдиометра при введении в него носика пипеты, а также способствует более удобному нахождению этого носика под ртутью.

Наполнение эвдиометра ртутью происходит или при помощи пипеты же, или при помощи очень тонких и гибких трубочек из полутвердого каучука, которые можно получать в хирургических магазинах, под названием английских катетеров.

Наполненный ртутью и заправленный в особой формы ухват с длинной ручкой (форма которого понятна из рисунка) эвдиометр надвигается на носик пипеты. Часть ртути прямо из ванны выпускается в воронку; вследствие происходящего от этого уменьшения давления, часть газа из пипеты тотчас переходит в эвдиометр, остальная часть переливается, когда воронка будет поднята и открыт зажим, сообщающий ее с шариком пипеты. Вся ртуть переходит в ванну; для ускорения этого можно вновь воспользоваться кратчайшим путем, через дно ванны. Эвдиометр подхватывается ложкой и переносится, для отсчитывания, в прибор Дойера. Благодаря употреблению регулятора, здесь, как известно, нет надобности ни в термометре, ни в барометре (когда определяется только относительный состав газа; для получения абсолютных величин стоит только сделать одно барометрическое и термометрическое наблюдение).[1]

Измеренный газ вновь при содействии *переливателя* переводится в сосуд широкого диаметра и в нем переносится в *реактивную* пипету, содержащую раствор гидрата кали, где взбалтывается с реактивом, и обратно, тем же порядком, чрез *пере-*

[1] Принимая во внимание капиллярное понижение ртути в эвдиометре.

ливатель возвращается в эвдиометр для вторичного измерения. Разность двух отсчитываний дает количество углекислоты. Это, кажущееся излишним, усложнение операций, т. е. посредство *переливателя,* полезно с двоякой точки зрения. Во-первых, эвдиометр никогда не приходит в прикосновение с реактивом пипеты, следовательно, не может быть и тени сомнения в его чистоте, а во-вторых, газ, полученный после обработки гидратом кали, в переливателе вновь насыщается водяным паром, так как стенки его для того постоянно смочены водой. Подобное смачивание стенок эвдиометра (как это обыкновенно водится) ввело бы ошибку при определении объема газа, конечно, ничтожную, но тем не менее нежелательную, когда определяются такие малые количества газа. Но из всего сказанного ясно, что это усложнение не представляется необходимым, и при опытах, не требующих особенной, исключительной точности, может быть опущено. При соблюдении всех описанных приемов, определение углекислоты требует минут 12—15, но если не переносить эвдиометра в прибор Дойера, а производить отсчитывания прямо над ванной реактивной пипеты, то для этого не потребуется более 3—5 минут.

Остается сказать несколько слов о степени чувствительности употребленных мною приборов. Каждое деление моего эвдиометра (=1 миллиметру), прокалиброванного ртутью, посредством взвешивания, равнялось (средним числом) 0,0075 кубического сантиметра. Но так как отсчитывания производились при помощи зрительной трубки, дающей увеличение в 10 раз и снабженной скалой в окуляре, служащей нониусом, то отсчитывания легко можно было бы производить с точностью до 0,01 деления; но я довольствовался 0,1 деления и, следовательно, определял 0,0007 кубического сантиметра, а результаты выражал в тысячных долях. При употреблении таких узких трубок, очевидно, играет роль форма ртутного мениска, изменяющаяся с температурой; но это изменение в пределах тех температур, при которых я наблюдал, ни в каком случае

не превышало 0,1 миллиметра и, следовательно, не могло влиять на мои определения.

Ознакомившись с химической стороной дела, перейдем теперь к рассмотрению физической и физиологической стороны.

Помещение, где производились опыты, было обращено на ЮВ и находилось в нижнем этаже, вследствие чего гелиостат можно было выставлять на каменный столб, сложенный нарочно поодаль от стены здания для того, чтобы воспользоваться возможно большим горизонтом (комната была к тому же угловая). Световое изображение, отраженное от зеркала гелиостата, принималось на вделанную в ставень чечевицу (неахроматическую) такого размера (13 см), чтобы изображение занимало только ее средину. С внутренней стороны ставни, для устранения рассеянного света, прикреплялась коническая трубка из папки, выклеенная внутри черной матовой бумагой; длина трубки равнялась фокусному расстоянию чечевицы (50 см). К внутреннему концу трубки, снабженному диафрагмой, приставлялась С'Гревзендова щель, ширина которой не превышала 1 миллиметра. Между щелью и призмой с сернистым углеродом помещалась другая чечевица (также неахроматическая, в 10 см диаметра и 30 см фокусного расстояния). Для получения отчетливого спектра я поступал таким образом. Сначала прокладывал спектр, чтоб определить приблизительно положение экрана. Затем поворачивал призму так, чтобы одна из сторон отбрасывала на экран изображение щели и, передвигая вторую линзу и экран, устанавливал их таким образом, чтоб получить ясное, резко ограниченное изображение щели. Затем призма приводилась в должное положение и устанавливалась на minimum отклонения для луча D. Эта линия была еще видна при употреблявшейся ширине щели, а при незначительном сужении последней проявлялись и B, C, E, F, G. О чистоте спектра можно было судить еще, устанавливая сосуд с параллельными стенками, наполненный раствором хлорофилла. Спектр хлоро-

филла был почти так же отчетлив, как в спектроскопе; *все линии обозначались с полною ясностью,* а главная, характеристическая черта представлялась совершенно черной, с ясно ограниченными краями. При увеличении щели, напр., до двух миллиметров, средние черты исчезали, а главная делалась расплывчатой, туманной. Высота спектра была обыкновенно от 8—10 см, длину же я не определял, вследствие неясной границы фиолетового конца. Силу освещения я также не определял, так как это было бы очень хлопотливо (если определять ослабление вследствие отражения от зеркала, призмы и пр. и вследствие поглощения средами) и для настоящей работы излишне.[1] Простое геометрическое построение (т. е. не принимая во внимание указанные обстоятельства) показывало, что свет был ослаблен приблизительно в шесть раз.

Физиологические условия состояли главным образом в следующем. Нужно было заботиться, чтобы листья получали возможно более света и были по возможности сходны. Хотя с первого взгляда может показаться, что было бы все равно выставлять большие зеленые поверхности в большой, но не яркий спектр или малые поверхности в малый, но яркий спектр, лишь бы в том и в другом случае листья пользовались всем возможным светом. Но не трудно убедиться, что результаты того и другого опыта были бы различны. Не следует забывать, что одновременно с разложением углекислоты в растении постоянно совершается процесс окисления, выделения углекислоты, и что, чем он энергичнее, тем менее ясны, отчетливы результаты обратного процесса. Но процесс окисления можно принимать пропорциональным поверхности (или вернее массе), следовательно, *для ясности* результатов выгоднее выставлять в более яркий спектр менее значительные поверхности листа.

[1] Я имею в виду предпринять впоследствии ряд определений абсолютных количеств разлагающейся углекислоты; тогда подобное определение будет существенно важно.

Возможной тождественности объектов можно достигнуть только одним путем: вырезая куски *одинаковой площади и свойства из одного и того же листа.*

Выбор листа, кроме его размеров, определяется еще следующими обстоятельствами. На состав газов после опыта, кроме совершающихся процессов, очевидно, должна влиять и существующая в листе атмосфера и растворенная в жидкостях его углекислота (и преимущественно эта последняя причина, так как атмосфера межклетных пространств должна скоро приходить в равновесие с окружающей средой). Этот источник неточности, очевидно, зависит от объема листа, а так как поверхность его дана, то — от его толщины.

Следовательно, удовлетворить условиям опыта мог лист *довольно большой, плоский, однородный* (в отношении цвета и нервации) и *тонкий.* Из всех находившихся у меня под рукой листьев наиболее пригодными оказались листья бамбука, толщина которых, как я убедился посредством измерения поперечных разрезов под микроскопом, не превышает 0,1 миллиметра. Из такого листа, по удалении срединного нерва, а также верхней и нижней части, вырезывались 4—6 кусков в 8 сантиметров длиною и 12—15 миллиметров шириною (разумеется, в каждом опыте все куски были одинаковой величины).

Рассмотрим теперь самый способ экспериментирования и погрешности, которые он может представить. Описанные куски листа вводились в стеклянные, запаянные с одного конца трубки, с внутренним диаметром в 10—12 миллиметров. Так как ширина кусков превышала диаметр трубки, то они, вследствие своей упругости, удерживались (даже при наполнении ртутью) на той высоте, на которой были помещены. Это обстоятельство немаловажно, так как, если не все куски будут на одной высоте, то или часть листьев не будет вполне освещена, или придется увеличивать размеры спектра и напрасно терять свет. Наполнение трубок с листьями ртутью требует некоторой ловкости или, вернее, навыка. Как известно, листья весьма упорно

удерживают на своей поверхности слой воздуха;[1] удалить его можно следующим образом: наполнив трубку почти до края, ее приводят в наклонное положение так, чтобы лист находился на нижней стороне, и, закрыв отверстие перстом, несколькими сухими ударами или сотрясениями удаляют весь воздух, до последнего пузырька. Листья бамбука и в этом отношении представляют удобство. У них пузырьки воздуха держатся почти исключительно на нижней поверхности, покрытой пушком. Когда весь воздух удален, то присутствие листа, прилегающего под ртутью к нижней поверхности трубки, обнаруживается бесчисленным множеством мельчайших точечек, это верхушки волосков. Наполненная трубка опрокидывается над ртутной ванной. При всех операциях с этими трубками и эвдиометром употребляется железная ложка.

Для выставления трубок в спектр служил очень искусно сделанный в Париже маленький деревянный статив с такою же ванной. Для того, чтобы трубки можно было размещать в каких угодно между собою расстояниях, т. е. плотно одна к другой, или с желаемыми промежутками, они не захватываются, а только придавливаются сверху нажимами, закрепляемыми винтом и подложенными пробкой. Дно ванны также выложено каучуком, так что трубки крепко удерживаются в своих местах и плотно закрыты со дна; таким образом, даже при самом неосторожном обращении (при переноске) не может быть опасности, расплескав ртуть в ванне, случайно ввести пузырек воздуха. Каждая трубка получает по возможности

[1] Это обстоятельство было одной из причин неудачи опытов Дрепера. Для удаления этого воздуха он оставлял листья на несколько дней в воде, причем сам подозревал, что они начинали разлагаться. Довольно странно, что ему не пришел в голову следующий простой прием: стоило только погрузить листья в прокипяченную воду, тогда серебристый слой пузырьков, их покрывающих, мгновенно исчезает, растворяется. Этот прием можно было употребить и в настоящем случае, т. е. сначала наполнить трубку прокипяченной водой, а потом уже вытеснить ее ртутью; но я нашел это излишним.

одинакий объем газа; для этого все они прокалиброваны газом таким образом, что означенная алмазом черта показывает объем, соответствующий нижним чертам эвдиометра. Эта предосторожность вызвана формой эвдиометра: если бы газа взято было слишком много или слишком мало, то уровень ртути при измерении в эвдиометре стоял бы или в колокольчатой, или в расширенной верхней части эвдиометра, т. е. отсчитывание было бы невозможно.

Все трубки наполнялись из одного маленького стеклянного газометра предварительно приготовленною смесью воздуха с углекислотой. Последней бралось обыкновенно около 5% (что измерялось при помощи делений на колоколе газометра).[1] Это содержание углекислоты находится также в связи с размерами эвдиометра. Нужно было брать ее такое количество, чтоб объем ее в каждой трубке + наибольший объем углекислоты, который может образоваться, помещались в шейке эвдиометра, т. е. чтоб после самого энергического поглощения гидратом кали, остающийся объем был бы настолько велик, чтоб уровень ртути стоял в шейке эвдиометра, а не вошел бы в шарик. Одновременно с трубками, содержавшими листья, наполнялась и порожняя трубка, назначенная для точного анализа употребленного газа.

Батарея трубочек выставлялась затем в спектр, который, передвижением второй линзы, сокращался или расширялся (в вертикальном направлении) сообразно размерам взятых кусков листа так, чтобы нисколько света не пропадало даром. За трубками помещался белый экран, а в промежутках между ними, вплоть до экрана — черные картонные перегородки для того, чтобы препятствовать боковому отражению от стенок соседних трубок. Таким образом, каждая трубка получала исключительно ей предназначенный свет. Положение трубок

---

[1] Принимая во внимание ослабление света при этих опытах, это содержание, вероятно, наиболее выгодное.

определялось положением линии D, но, главным образом, отчетливым, *представлявшим все линии* спектром хлорофилла. Трубки размещались таким образом: самая крайняя в красной части, не поглощаемой хлорофиллом, вторая в абсорбционной полосе хлорофилла, третья в оранжевой части (на второй полосе), четвертая в самой яркой желтой части на границе с зеленой (при линии D, следовательно, около третьей линии), пятая в самой светлой зеленой части, левее четвертой абсорбционной линии. Если смотреть на установленную таким образом батарею, то все трубки представляются в соответствующих цветах спектра, только крайняя красная представляется почти темной.[1] Но если перед глазом поместить сосуд с раствором хлорофилла, то картина изменяется: крайняя трубка представляется ясно-красного цвета, а вторая с краю совершенно черной.

Инсоляция длилась обыкновенно шесть часов, иногда более, редко менее. Я не привожу числа часов, потому что они ничего не означают: за одним только исключением, мне не удавалось экспериментировать в совершенно безоблачные дни, а при таких условиях настоящее время инсоляции все же остается неизвестным. В следующем году у меня будет регистрирующий аппарат, который дозволит точно определять время инсоляции, и тогда эти цифры представят интерес при вычислении абсолютных количеств.

По окончании опыта газы поспешно отделяются от листьев при помощи пипеты и переводятся в другие сосуды. В этой

---

[1] Нельзя не разделять энтузиазма, с которым Дрепер описывает свой опыт; трудно не увлечься, когда увидишь в первый раз среди совершенной темноты этот ряд сверкающих, словно горящих разноцветными огнями, трубок, а уму невольно представляется мысль, что тут неслышно, невидимо совершается таинственный, неразгаданный процесс, что тут завязывается узел, соединяющий все живое на нашей планете с источником его силы — солнцем. Едва ли во всей физиологии растений найдется другой опыт более любопытный по содержанию, более изящный по форме.

операции обнаруживается одно из удобств моего метода: благодаря ему, возможно действовать на один и тот же объем неопределенное число часов, т. е. несколько дней, и каждый раз отделять газ от листа без потери. Таким путем, вероятно, удастся получить результаты и в спектрах менее ярких, чем тот, который я имел, наприм., в таких, в которых видны будут все фрауенгоферовы линии, или в дифракционном.

Собранные таким образом газы подвергаются анализу (т. е. определяется в них углекислота) и результат сравнивается с составом взятого газа. Разность между двумя отсчитываниями, до и после поглощения гидратом кали, дает количество углекислоты, оставшейся после инсоляции. Но, зная состав взятого газа и его количество в данной трубке, из пропорции получаем, сколько ее должно было быть до опыта. Вычитая первую величину из второй или наоборот, узнаем, сколько углекислоты исчезло или прибыло во время опыта. Все полученные цифры не нуждаются ни в каких поправках, так как все отсчитывания производятся в приборе Дойера при помощи его регулятора.

Из приведенной ниже таблицы видно, что наибольшее количество разложенной углекислоты = 0,462 куб. сантиметра, наибольшее количество выделившейся = 0,144. Рассмотрим главные источники неточности, которые могли возникнуть при описанной постановке опыта. Главная ошибка, которой следует опасаться, заключается в удалении каким бы то ни было способом из взятого газа находящейся в нем углекислоты, так как о ее разложении заключаем только по ее убыли. Единственным вероятным источником ее потери могло быть поглощение ее водою листа, но не трудно убедиться, что это поглощение не могло влиять на результаты опыта. О количестве углекислоты, поглощенной листом, можем составить понятие на основании следующих данных: 10 квадратных сантиметров листа весят в свежем состоянии 0,06 г, высушенные при 110° весят 0,03, следовательно, воды в них 0,03 кубич. сантиметра. При обыкновенной температуре вода поглощает примерно равный объем

углекислоты, но так как давление после опыта было от 0,01 до 0,06 атмосферы, то количество ее, растворенное в листе, колебалось между 0,0003 и 0,0018 кубического сантиметра, следовательно, может считаться в пределах погрешности самого метода. Но эта оценка слишком велика, потому что растения, разлагающие углекислоту, едва ли представляют насыщенные растворы. Это последнее обстоятельство убеждает, что в тех трубках, где углекислоты разложилось мало, ее в действительности разложилось еще менее, так как там поглощение было более энергично, как вследствие большего содержания углекислоты в окружающей атмосфере, так и вследствие большей вероятности равновесия между этой атмосферой и раствором в листе. Следовательно, если и была ошибка в 0,001, то она касается только тех трубок, которые находились в крайней красной и зеленой частях, и эти ординаты следует убавить на соответствующую величину (т. е. в приводимых графических результатах на $^1/_4$ миллиметра).

Второе возможное возражение заключается в погрешности, которую мог ввести тот период, в продолжение которого трубки наполнялись газом, и тот, когда газ отбирался из них, но та и другая операция не длилась более $^1/_4$ часа, в продолжение которых трубки покрывались черным покровом и постоянно обращалось внимание, чтобы трубка, наполненная первою, была бы первою опорожнена. Таким образом правило, чтобы все сравниваемые части находились при прочих равных условиях, кроме одного, — т. е. специфического действия различных лучей, — было строго соблюдено (насколько это возможно вообще при опытах с организмами), так что различие в явлении нельзя приписать никакой иной причине, кроме искомой.

Привожу результаты шести опытов в графической форме (рис. 5). Эта форма дает возможность непосредственно судить о степени чувствительности метода. Ординаты, соответствующие пяти частям спектра, в которых производились опыты, представляют *столбы углекислоты* (исчезнувшей или образовав-

шейся) в шейке моего эвдиометра, *в удвоенном масштабе.* Если же изобразить их в том виде, в каком они представлялись мне в зрительную трубу, то масштаб нужно взять *в 5 раз более.* Этого соображения, я полагаю, достаточно, чтобы убедить, что приводимые результаты представляют вполне реальные, осязательные величины, а не продукты арифметических упражнений, как у других исследователей.

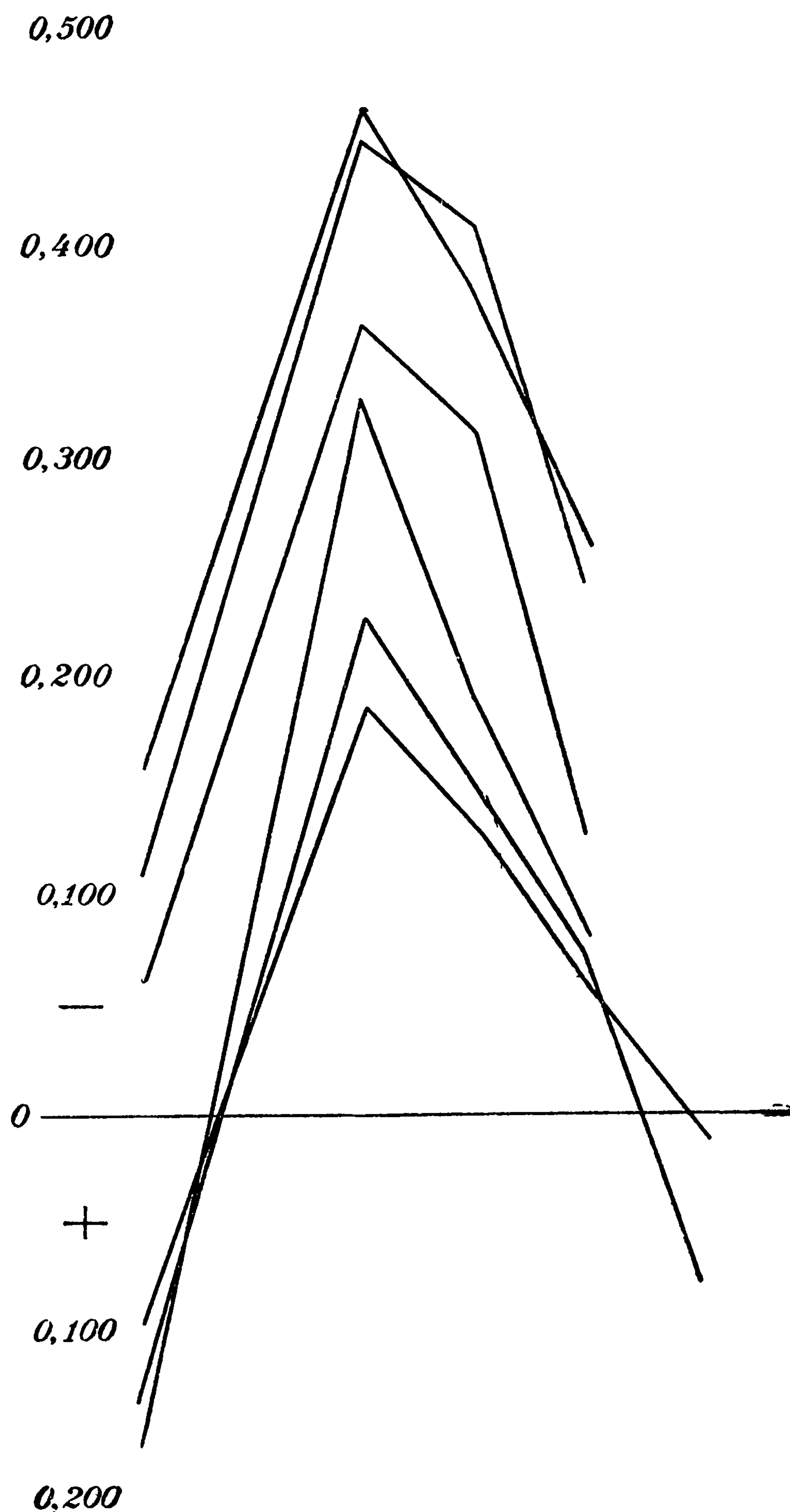


Рис. 5.

Черта, обозначенная O, представляет нам такое положение, при котором нет ни разложения, ни образования углекислоты; величины над чертою изображают количество разложенной, величины под чертою — образовавшейся углекислоты. Расстояния на оси абсцисс взяты произвольные и равные. Но так как одна из главных целей заключалась в сравнении полученных кривых с поглощением света хлорофиллом, то нуж-

но было получать результаты в форме, допускающей сравнение. Опыты производились в спектре сероуглеродной призмы, спектр же хлорофилла определялся в обыкновенном спектроскопе с флинтгласовой призмой. Я нашел более удобным перечислить результаты опыта на флинтгласовую призму, т. е. привести их к спектру моего спектроскопа. Для этого я поступил следующим образом: вычислил среднюю из шести опытов. Определил количество углекислоты, выделяемое средним числом тою же поверхностью листа за тот же промежуток времени в темноте, прибавил это количество ко всем величинам, показывающим количество разложенной углекислоты; вычел из этого числа количества углекислоты, образовавшиеся в некоторых трубках. Эти суммы и разности дали мне количества углекислоты, действительно разложенные под различными лучами. Полученные (для всех трубок положительные) величины я перемножил на показателей отношения дисперсии (соответствующих лучей сравниваемых между собою призм) и полученные величины восставил из точек спектра, в которых находились трубки.[1] В результате получилась линия a b c d e f, изображенная на табл. I.[2] Нижняя горизонтальная линия представляет настоящую нулевую линию (абсолютный нуль), т. е. положение, где вовсе не разлагается углекислоты; считая от нее, ординаты представляют действительно разложенные количества углекислоты. Линия mn представляет относительный нуль, т. е. то положение, где оба противоположные процесса уравновешиваются; считая от нее вверх, мы получим количество углекислоты исчезнувшей (т. е. заменившейся кислородом).

Так как один из главных вопросов, для разрешения которых было предпринято исследование, заключался в проверке пред-

[1] Для дисперсии спектра сероуглеродной призмы я руководствовался данными Гладстона.

[2] Трубки a и b находились в крайней красной части спектра, но в трех опытах (a) ближе к A и в трех других ближе к B.

полагаемой связи между разложением углекислоты и абсорбционным спектром хлорофилла, то я счел нужным подвергнуть этот последний более тщательному исследованию. В своем исследовании над хлорофиллом я уже указал, что для получения полного представления о законе поглощения света хлорофиллом необходимо обладать каким-нибудь фотометрическим приемом. Прием Фирордта, хотя далеко не безукоризненный в теоретическом отношении, вероятно, был бы достаточно точен, но я, к сожалению, не обладал его прибором, а те приемы, к которым прибег, еще не привели меня к достаточно удовлетворительным результатам.[1] По неимению фотометрического способа, я довольствовался тем, что срисовал на-глаз (прямо тушью, а не обозначая только точками границы линий, как это обыкновенно делают) целый ряд спектров при различной толщине слоя. При этом обращалось внимание: на относительную степень черноты трех первых линий между собою; на степень отличия абсорбционных точек от промежутков; на моменты, когда различие между полосами и промежутками становилось неприметным для глаза. Этих данных было достаточно для получения рисунка, приведенного на таблице I. Следует еще заметить, что и крайние красные лучи претерпевают заметное поглощение, если сравнивать эту красную полосу с соответствую-

---

[1] Я употреблял для постепенного ослабления света два приема. Первый состоял в применении к измерению напряжения света приема, употребляемого Desain'ом для градуирования гальванометра при исследованиях над лучистой теплотой. Другой прием состоял в замене дымчатых стекол дымчатой желатиной. Скала, составленная из наложенных одна на другую пластинок желатины, представляет, кроме постепенности, еще то преимущество, что может в то же время служить при подборе теней на рисунке, и таким образом самый рисунок лишается своей произвольности. Оба эти способа, взятые вместе, дадут, я убежден, удовлетворительные результаты. Впрочем, я ожидаю еще более удовлетворительных результатов от применения открытия Беккереля (о котором будет сказано ниже) к фотографированию спектра хлорофилла, чем в настоящее время и занят.

щей полосой спектра взятого источника;[1] она кажется очень яркой только по контрасту с совершенно черными частями, ее окаймляющими. На рисунке поглощение красных лучей не обозначено, вследствие трудности судить о его степени.[2]

Для более удобного определения спектров, при различных толщинах слоя, я употребил не прежний свой прибор (главное значение которого заключалось в возможности точного изучения *малых количеств* тел, получающихся при реакциях), а следующий, новый, представляющий несомненные удобства и вполне удовлетворяющий так часто заявляемой потребности в подобного рода приборах (рис. 6). Он состоит из широкой цилиндрической трубки, открытой с обоих концов и тщательно пришлифованной по краям. Оба конца закрыты зеркальными пластинками, закрепляемыми посредством каучуковых колец и снабженными двумя призмами, которые приклеены канадским бальзамом, и сообщают лучу указанное на рисунке направление. Жидкость приливается из бюреты, где и может измеряться со всею желаемою точностью. Зная отношения диаметров бюреты и цилиндра, знаем толщину слоя жидкости. Кон-

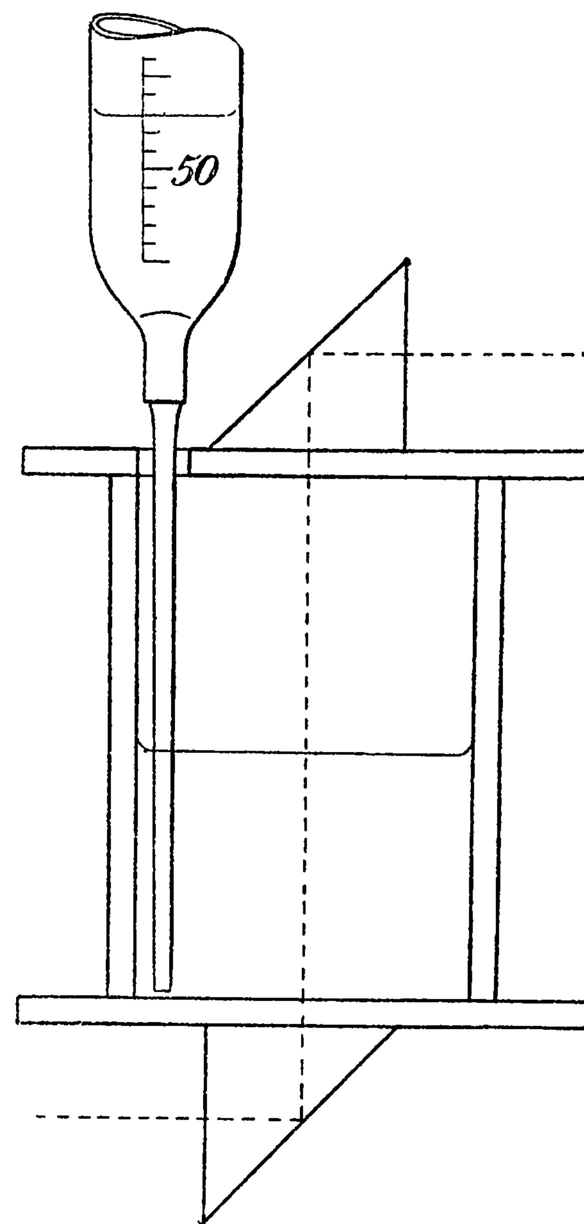


Рис. 6.

[1] Спектроскоп мой снабжен подвижной щелью в окуляре, что делает все определения несравненно более точными, так как позволяет устранять действие других лучей.

[2] Еще не известно, не существует ли абсорбционных полос при A и левее; это может обнаружить только столбик Меллони.

чик бюреты снабжен узкой вытянутой трубочкой, доходящей до дна цилиндра. Значение этой трубочки следующее. При определении абсорбционной кривой иногда весьма важно обращаться к уже сделанному определению, проверять его, т. е. уменьшать толщину слоя, что и достигается здесь таким образом: верхняя часть бюреты снабжена каучуковым шаром с зажимом, при помощи которого можно по желанию всасывать жидкость в бюрету и вновь ее выпускать. Когда имеется достаточное количество раствора, прибор этот представляет несомненное преимущество пред своим прежним прибором.

Полученое таким образом изображение показывает с особенною ясностью, как велико различие в интенсивности различных полос спектра. Вторая и третья полосы являются только как бы зубцами на общей фигуре, которая, если отвлечься от этих второстепенных maxima, представляет близкое сходство с помещенной над нею кривой разложения.

На этом мы и закончим фактическую часть этой главы. Из нее, я полагаю, можно сделать тот вывод, что вопреки мнению Сакса, уже не раз приведенному выше, изучение занимающего нас явления становится возможным в форме, вполне точной как с физической, так с химической точки зрения, чем и разрешается задача, поставленная в начале этой главы. Перейдем теперь к рассмотрению заключений, выводов и предположений, возникающих при современном состоянии вопроса и определяющих дальнейший ход исследования.

Первый и самый общий вывод, который может быть сделан — тот, что всякий окончательный вывод был бы преждевременен. Тем не менее, постараемся, по возможности, ответить на те вопросы, которые возникают сами собою ввиду полученных результатов. Какие лучи оказывают преобладающее действие? От каких свойств этих лучей зависит оно? Пропорционально ли оно действию луча на глаз? Зависит ли оно от живой силы луча? Не зависит ли оно исключительно от степени поглощае-

мости луча хлорофиллом? Или оно, быть может, зависит одновременно от двух или нескольких причин? И, наконец, не имеют ли действующие и поглощенные хлорофиллом лучи еще какого-нибудь специального значения в этом процессе?

I. Какие лучи, т. е. лучи какой длины волны оказывают наиболее энергическое действие? Хотя мы видели, что Сакс дает в своем учебнике прямой ответ на этот вопрос, определяя, с какой длины волны начинается разлагающее действие и при какой кончается, и выводит из этого даже особую теорию, что наибольшее действие оказывают лучи с длиною волны, среднею между этими пределами, но мы также видели, что он в этом обнаруживает полное непонимание дела (не говоря уже о ненадежности фактических данных, на которых он основывается). Для того, чтобы судить об отношении между длиною волны и рассматриваемым процессом, нужно знать, какой вид получит кривая разложения в спектре дифракционном, так как в спектре призматическом действие луча зависит от двух причин: от свойства волны и от светорассеяния, и потому нельзя произвольно приписывать явление исключительно одной причине. Так, напр., если в призматическом спектре известный красный луч оказывает одинаковое действие с известным фиолетовым, то из этого нельзя заключать, что и в дифракционном спектре оба окажут одинаковое действие, напротив, последний луч может оказать действие более энергическое. Итак, если мы желаем судить о значении того или другого луча (характеризуемого длиною его волны), то, во всяком случае, должны прежде элиминировать влияние светорассеяния, и для этого результаты, полученные для призматического спектра, перечислить на спектр дифракционный, помножая полученные данные на показателя отношения дисперсии. Но, спрашивается, вправе ли мы поступить и таким образом? Не будет ли произвольным допущение, что действие лучей *пропорционально* дисперсии? Если явление зависит от какого-нибудь общего свойства лучей, их светового напряжения или

живой силы (измеряемой тепловым эффектом), то это допущение возможно, но если действие зависит от каких-нибудь специфических свойств лучей, напр., их поглощаемости, в особенности, когда это свойство изменяется резкими скачками, то это допущение, очевидно, может оказаться неправильным. Это можно пояснить на следующем примере.[1] Возьмем полосу дифракционного спектра, занимаемую главной абсорбционной линией хлорофилла. Еслиб мы экспериментировали в этом спектре, то, желая узнать действие этого пучка лучей, поместили бы в этом месте соответственной ширины полоску листа, но мы этого пока не можем сделать и вместо того помещаем эту полоску в призматический спектр, и зная, что в этой части дисперсия призматического спектра примерно вдвое менее (следовательно, лучи скучены вдвое теснее), полученную величину разложенной углекислоты делим на два для того, чтобы получить действие на ту же площадь листа соответствующих лучей дифракционного спектра. Но очевидно, что подобное заключение не верно; в призматическом спектре полоска листа только в средней своей части будет освещена пучком лучей, соответствующих абсорбционной линии хлорофилла, направо и налево от этого пучка она освещена лучами, или вовсе не поглощающимися хлорофиллом, или поглощающимися очень слабо. Но так как, по условию, действие зависит от степени поглощения лучей, то, очевидно, мы не вправе заключить, что полоска листа будет разлагать вдвое более углекислоты; хотя она и получит вдвое более лучей, но действующих лучей будет столько же. Понятно, что аргумент сохраняет свою силу и при обратном заключении, т. е. при переходе от призматического спектра к дифракционному.[2] Итак, мы приходим к заключению, что если разлагающее действие луча зависит от степени его поглощаемости, то

[1] Понятно, выбран именно такой пример, из которого была бы ясна несообразность такого способа вычисления.

[2] Т. е. если бы мы взяли полоску листа шириной в абсорбционную линию призматического спектра и поместили ее посредине абсорбционной

мы не вправе перечислять кривую с одного спектра на другой, на основании одного различия в дисперсии. Возвращаясь к вопросу, какие же лучи действуют наиболее энергическим образом, мы теперь видим, что разрешить его нельзя иначе, как разрешив предварительно, в силу каких своих свойств действуют лучи, потому что, только разрешив этот вопрос, мы можем решить вопрос — вправе ли мы переводить результаты с одного спектра на другой, а без этого мы не можем составить никакого понятия об отношении между явлением и длиной волны.

Итак, переходим к этим вопросам.

II. Пропорционально ли действие света на разложение углекислоты действию его на глаз? Мы видели, что теория случайного совпадения, предложенная Саксом, оказывается фактически неверной (так как в защиту ее нельзя привести убедительных опытов, а опыты Мюллера и оба ряда моих опытов говорят против нее). Но если это учение неверно с фактической стороны, а допущение элемента случайности даже оскорбляет логику, то оно неверно еще и в том отношении, что отрицает возможность рационального объяснения (предполагая, что самый факт был бы верен). Сакс говорит: факт связи верен, но рационального объяснения ему дать нельзя, следовательно, это связь случайная. Обыкновенно считают несомненной истиной, что световое напряжение — явление чисто субъективное, что ему не соответствуют различия в объективной энергии луча. Но такое утверждение едва ли не слишком смело. Мы в настоящее время ничего не знаем о живой силе, о тепловом напряжении лучей, так как эти данные можно получить, только изучив тепловое напряжение лучей в нормальном (дифракционном) спектре, а пока мы их не имеем. Если же перечислить результаты, полученные Мюллером, Десеном и Ламанским, то оказывается, что maximum теплового действия в нормальном спектре ле-

---

линии дифракционного, то получили бы не половинное количество разложенной углекислоты, а более половины.

жит в средней части светового спектра, не далеко от maximum'а света.[1] Итак, пока мы даже не знаем, не совпадают ли эти два проявления светового луча, кажется, еще рано утверждать, что свет — явление чисто субъективное, не зависящее от энергии луча.[2] Заключение Сакса, таким образом, совершенно извращается. Вместо того, чтобы утверждать, что связь существует, но не может быть объяснена рациональной причиной и потому должна быть признана за случай, можно сказать, что связь эта не оправдывается фактами: но *пока* еще было бы слишком смело утверждать, что она даже логически невозможна.[3]

III. Существует ли отношение между разложением углекислоты и энергиею действующего луча? Этот вопрос, для выяснения, требует некоторого развития. Для измерения лучистой энергии могут служить только черный термометр или столбик Меллони. Повидимому, после того как опыт показал, что maximum нагревания лежит в темной части спектра, где разложение $=0$, о подобном соотношении не может быть и речи. Но спрашивается, не поспешно ли будет подобное суждение. Не следует ли делать различие между температурой тела и температурой его частиц. Термометр или столбик показывает нам среднюю

---

[1] С этим, повидимому, согласны и недавние опыты Дрепера над тепловым напряжением обеих половин спектра.

[2] Новейшие исследования физиологов, повидимому, доказывают, что влияние света на глазной нерв обнаруживается объективным явлением отрицательного колебания тока и что явление это вызывается преимущественно желтыми лучами.

[3] Может показаться, что я здесь сам себе противоречу, но это противоречие является необходимым последствием более глубокого анализа изучаемого явления. Действительно, господствующее в настоящее время убеждение в субъективности светового напряжения возбудило во мне недоверие к теории Дрепера (о случайности, разумеется, никогда не могло быть и мысли) и было исходной точкой моей работы; но теперь, ввиду сказанного, не могу признать это убеждение за несомненную, непреложную истину, хотя весьма вероятно, что оно окажется таковою.

температуру тела, а не maximum, до которого достигают его частицы. При действии лучистой энергии это различие может быть очень значительно. Еще Румфордт указывал, что нам неизвестно, до какой степени могут быть нагреты частицы воздуха под действием лучистой теплоты. Термометр нам дает одинаковые показания, будут ли все частицы при одной, или некоторые при очень высокой, другие при низкой температуре. Но очевидно, что в химических явлениях должна играть роль именно температура частиц. Быть может, в этом и заключается специальное значение лучистой энергии в фотохимических явлениях. Частицы вещества, подвергающиеся действию лучистой энергии, находятся в условиях, более благоприятных для диссоциации, чем другие, находящиеся в пространстве, нагретом равномерно. Представим себе частицы углекислоты, рассеянные в атмосферном воздухе и подвергающиеся действию лучистой энергии; известно, что углекислота гораздо энергичнее воздуха поглощает тепловые лучи, следовательно, частицы ее будут нагреваться в сравнительно холодном пространстве — обстоятельство, благоприятствующее диссоциации (tube chaud et froid Девиля). Таким образом, термометр, помещенный в различные части призматического спектра, показывает нам только среднюю температуру, приобретаемую телом под влиянием лучистой энергии. Но по этим средним мы не в состоянии судить — где, в какой части спектра, будет лежать maximum молекулярной температуры; так напр., maximum температуры в темной части будет зависеть от дисперсии, от большей скученности, густоты светового пучка. Если же мы примем во внимание дисперсию, то, как уже сказано выше, убеждаемся, что в нормальном спектре maximum должен лежать в светлой части спектра. Следовательно, большей энергией обладают лучи светлой части спектра; лучи же темной части призматического спектра действуют энергичнее на термометр только вследствие своей скученности. Но, быть может, такое суммирование действия имеет последствием только повы-

шение температуры большего числа частиц, повышает среднюю температуру тела, а не в состоянии довести некоторые частицы до температуры, необходимой для разложения. Темные волны приводят в движение большее число частиц, но уже ни одну не приводят в такое состояние, которое способно вызвать разложение. Подобное воззрение в состоянии объяснить, почему, допуская, что разложение зависит от живой силы луча, мы можем не встретить его в призматическом спектре там, где термометр показывает высшую температуру. Понятно, впрочем, что бо̀льшая скученность лучей, суммирование их *до известного предела* может увеличивать действие лучей и потому, даже допуская, что процесс зависит от живой силы луча и прекращается, когда она достигает известного minimum'а, нельзя предвидеть, в какой части *призматического* спектра должен лежать maximum разложения.

Но если подобное соотношение существует, то оно должно обнаружиться в нормальном спектре. Прилагаемый рисунок (фиг. 7) показывает, какую форму принимают обе кривые (кривые разложения (a' и a) углекислоты и тепловая кривая (b) по Ламанскому в нормальном спектре). Как видно, соответственности не оказывается. Но еще неизвестно, насколько можно полагаться на подобные перечисления данных призматического спектра на дифракционный, и потому крайне любопытно было бы получить непосредственные экспериментальные данные для распределения теплового напряжения в последнем спектре. Итак, вопрос, существует ли отношение между тепловым напряжением *луча* и разложением, до получения сведений о распределении тепла в нормальном спектре, может считаться открытым.[1]

[1] Понятно, что нет никакого основания a priori предполагать, что должно существовать такое простое отношение между лучистой энергией и рассматриваемым процессом. Очевидно, что явление и в дифракционном спектре может быть подвергнуто более глубокому анализу, быть раз-

IV. Зависит ли разложение от поглощения света хлорофиллом? Приведенные результаты делают положительное разрешение этого вопроса в высшей степени вероятным. Этим соотношением объясняются два факта, требующие объяснения,

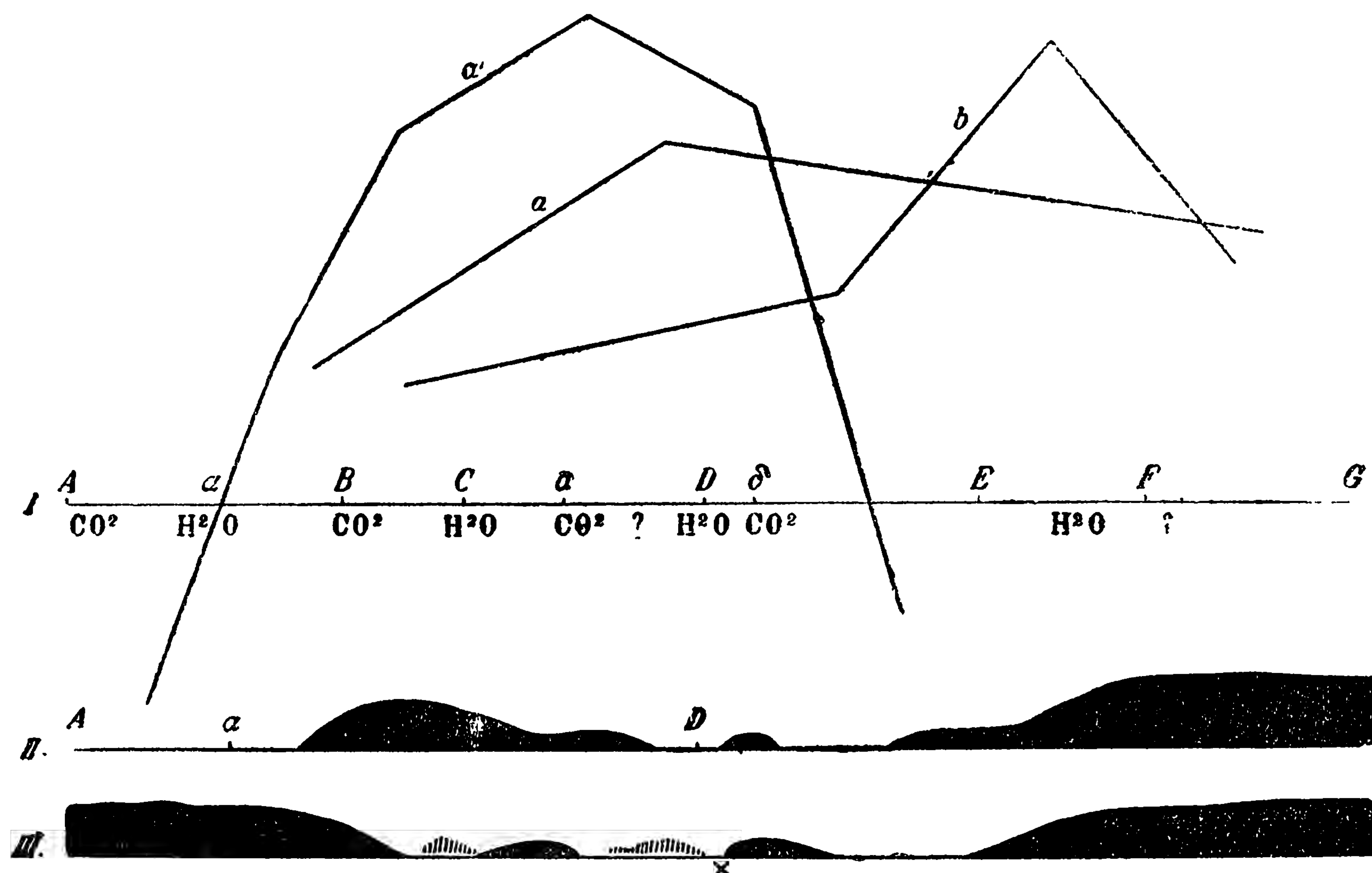


Рис. 7.

именно положения maximum'а [1] разложения и положение пределов. Затем самая форма кривой в значительной степени сходна с общим очертанием фигуры, изображающей поглощение света. Эта фигура наглядно показывает, что спектр хлорофилла

ложено еще на простейшие. Так как длина волны убывает от красного конца к фиолетовому, а показания термометра сначала увеличиваются, достигают maximum'а и затем уменьшаются, то из этого не следует ли заключить, что амплитуды также убывают от красного конца к фиолетовому. Чем более амплитуда, тем сильнее, тем короче длина волны, тем учащеннее удары, получаемые частицами, и едва ли можно сказать, которое из этих обстоятельств, или какое сочетание их, должно наиболее способствовать разложению.

[1] Он был бы еще очевиднее, если б полоски листа были уже.

вовсе не представляет прерывчатого чередования темных полос и светлых промежутков, а напротив, представляет сплошное поглощение менее преломляющейся части спектра, на котором абсорбционные линии являются зубцами. На это обстоятельство ни Ломмель, ни Мюллер не обратили должного внимания. Для большей убедительности, конечно, желательно было бы обнаружить действие и второстепенных maxima, т. е. второй и третьей абсорбционных линий. Хотя из спектра и видно, что их действие должно быть незначительно, тем не менее, убедившись в чувствительности своих приемов исследования, я надеюсь при употреблении более узких полосок листа обнаружить и это действие.[1] Но достаточно сравнить этот спектр хлорофилла с кривой моих первых опытов, чтобы убедиться, что одним поглощением нельзя объяснить форму кривой разложения. Крайние синие и фиолетовые лучи сильно поглощаются, а между тем разложение в них очень слабо. Здесь для объяснения является вторая вспомогательная гипотеза Ломмеля, что, кроме поглощения, влияет и энергия луча, а так как энергия этих лучей мала, то, несмотря на сильное поглощение, они оказывают только слабое действие. По этой причине, несмотря на повышение абсорбционной кривой, кривая разложения в этой части спектра склоняется. Но это слабое тепловое напряжение синих и прочих лучей зависит, в значительной степени, от сильной дисперсии; в нормальном спектре их тепловое действие должно быть более значительно — и, действительно, если мы перечислим результаты моих первых опытов на дифракционный спектр, то увидим (*a* рис. 7), что в этой части спектра кривая уже не будет склоняться, а примет почти горизонтальное направление. Весьма возможно, что при более тщательном исследовании и здесь можно будет обнаружить.

[1] В приведенных опытах, не зная еще, как энергично будет разложение, я брал по возможности большие (т. е. широкие) поверхности листьев и потому их нельзя было разместить ровно на линиях (кроме первой) и в промежутках.

повышение кривой. Но если эта сторона объяснения Ломмеля удовлетворительна, то общее его положение, что из лучей, поглощаемых хлорофиллом, наибольшее действие оказывают **те**, которые обладают наибольшей энергией, еще нуждается в доказательстве. Пока дело касается призматического спектра, это положение верно, и хлорофилл является очень совершенным поглотителем, т. е. из тех лучей, которые он поглощает, всего сильнее поглощает те, которые представляют наибольшее тепловое напряжение. Но в природе солнечный свет действует не через призму, в природе существуют только известной длины волны, которые сильнее других поглощаются хлорофиллом, и волны *неизвестной нам длины*, обладающие наибольшей энергией. Пока нам неизвестна длина этих последних, мы не вправе считать положение Ломмеля доказанным. Вычисленная кривая даже не говорит в его пользу; но едва ли на эту кривую можно вполне полагаться. Итак, здесь снова, в отсутствие положительных данных, открывается простор для предположений. Во-первых, повторяем, нам неизвестно, какие лучи обладают наибольшей энергией; возможно, что они лежат гораздо ближе к красному концу, чем показывает вычисление, — и тогда окажется что хлорофилл сильнее поглощает не только самые энергические *из поглощаемых*, но и абсолютно самые энергические лучи света. С другой стороны, возможно еще и другое отношение, в случае несовпадения обоих maxima, именно то, что недостаток энергии краевых лучей спектра выполняется более энергическим их поглощением. Такое воззрение пояснило бы то среднее положение maximum'a разложения, между maximum'ом поглощения и maximum'ом теплового напряжения, которое мы видим на рисунке 7.[1] Итак, добавочная гипотеза Ломмеля о значении энергии лучей, необходимая для объяснения явлений

---

[1] Считаем излишним повторять, что эта кривая (а́) совершенно произвольна, что она не может иметь той формы, если явление зависит исключительно от поглощения.

в наиболее преломляющихся лучах спектра, пока еще произвольна в применении к менее преломляющимся лучам и даже не представляется необходимой, потому что положение maximum'a между В и С достаточно объясняется наибольшим поглощением этих лучей.

Таким образом, факты, повидимому, указывают на преобладающее значение в рассматриваемом процессе лучей, поглощаемых хлорофиллом; только это сопоставление, как уже сказано, объясняет найденное из опыта положение maximum'a, а равно и быстрое понижение кривой со стороны красных лучей. Но если такова роль хлорофилла, то постараемся ее изучить поближе; посмотрим, нельзя ли привести аналогий в подкрепление этого взгляда, нельзя ли, до известной степени, разъяснить природу этой связи. Против этого предположения о связи между поглощением света хлорофиллом и разложением Сакс вооружается следующим аргументом. Растворы хлорофилла, говорит он, поглощают свет так же, как и живые части растений, и, однако, они углекислоты не разлагают — ясно, что между поглощением и химическою деятельностью не существует связи. Но, во-первых, против этого можно возразить, что в растворах энергия света расходуется на другие процессы, на разложение самого хлорофилла, происходящее при непосредственном солнечном свете весьма быстро, в рассеянном — гораздо медленнее. И только, когда отсутствие кислорода делает невозможным это превращение, поглощаемая энергия не обнаруживается никаким внешним проявлением; тогда она, без сомнения, превращается в теплоту.[1] Во-вторых, есть основание предполагать, что твердый хлорофилл флуоресцирует в меньшей степени, чем растворы, следовательно, те-

[1] Замечу кстати, что до настоящего времени, насколько мне известно, не опровергнут непонятный факт, описанный Студничкой (Wiener Ber. 1861), будто солнечный луч, *прошедший* через слой твердого хлорофилла на слюдяной пластинке, вызывает большее отклонение стрелки гальванометра, чем прошедший через ту же пластинку без хлорофилла.

ряет при этом менее энергии.[1] Что энергичность внутренней работы находится в обратном отношении с флуоресценцией, можно, повидимому, заключить из следующего наблюдения. Если взять три пробирных трубки со спиртовым, эфирным и масляным растворами одинаковой концентрации и посредством цилиндрической линзы отбросить на них полосу яркого света, то можно убедиться, что они флуоресцируют в порядке: спиртовой $<$ эфирный $<$ масляный раствор. Способность к разложению следует в обратном порядке: спиртовые растворы разлагаются очень быстро, эфирные — медленно, масляные могут иногда оставаться на солнце целые месяцы. Мюллер даже приводит опыт, из которого следует, что разложение углекислоты уменьшается с увеличением флуоресценции.[2] Наконец, возражение Сакса совершенно устраняется новыми фактами, приобретенными фотохимиею и бросающими яркий свет на природу изучаемого явления.

Недавние открытия Фогеля и затем Беккереля заставляют думать, что предполагаемая роль хлорофилла не исключительная, что такова вообще роль пигментов в фотохимических явлениях. Фогель показал, что серебряные соли, способные, как известно, разлагаться только под влиянием лучей с наименьшей длиной волны (которые, как показал Шульц-Зеллак, ими поглощаются), —что эти соли, если к ним будут примешаны какие-нибудь пигменты, начинают разлагаться и в тех лучах, которые поглощаются этими пигментами. Это явление, очевидно, сходно, как указывает на это Беккерель, с явлением так называемых продолжающих лучей (rayons continuateurs), заключающемся в том, что как только реакция подвинулась настоль-

[1] Флуоресценция твердого хлорофилла, как известно, долго отрицалась, но присутствие ее было доказано Н. Мюллером, а впоследствии признано и Гагенбахом.

[2] К сожалению, и этот опыт описан автором (Pringsheim Jahrb. 1873) так неудовлетворительно, что заставляет читателя принимать результат на веру.

ко, что серебряный препарат окрасился, то реакция продолжается уже в тех лучах спектра, которые начинают поглощаться этими окрашенными частями. Фогель делал свои опыты с различными пигментами. Но опыты Беккереля для нас любопытнее, так как они были сделаны над хлорофиллом. Оказалось, что если взять чувствительную пластинку, приготовленную из колодиума с иодистым серебром (чернеющим, как известно, только в наиболее преломляющихся частях спектра) и прибавить к раствору немного хлорофилла, то фотографическое действие тотчас обнаруживается и в частях спектра, соответствующих абсорбционным полосам хлорофилла. Особенно отчетливо выступает характеристическая абсорционная полоса в красной части спектра, и по ее черному полю тянутся две узкие белые полоски — Фрауенгоферовы линии В и С. Итак, не подлежит сомнению, что хлорофилл, подобно другим пигментам, способствует разложению серебряных солей при посредстве лучей им поглощенных, и иначе недеятельных. Что в этом случае действуют именно те лучи, которые поглощаются хлорофиллом, очевидно из того, что в этой части спектра поглощение полное; других, кроме поглощенных, лучей в этом месте спектра нет. Итак, мы вынуждены допустить, что в частицах хлорофилла поглощаемые лучи не затрачиваются (по крайней мере сполна) на какую-нибудь химическую работу, а только переходят (вполне или отчасти) в движение иного рода, способное сообщиться частицам других веществ и вызвать в них движение, имеющее результатом распадение этих тел. Таково, по всей вероятности, и действие хлорофилла в процессе разложения углекислоты. Описанные факты убеждают нас, что роль хлорофилла в процессе диссоциации углекислоты растением вовсе не исключительная, не имеющая аналогии в природе, как могло казаться до сих пор; напротив того, они обнаруживают, что тот же хлорофилл вызывает подобное же разложение и в других веществах; мало того, — что и другие пигменты, а может быть, и все, оказывают подобное же действие. Я сказал: может быть

все, — и действительно, пока еще не разрешен вопрос, действуют ли пигменты только как пигменты, или в этом явлении играет роль и их химический состав, т. е. они принимают участие в этом процессе. Беккерель склоняется более в пользу физического действия, так сказать, превращения или передачи силы. Фогель, повидимому, предполагает участие самого вещества в реакции. Это может быть более согласно со всем, что нам известно вообще о способствующем действии органических веществ в фотохимических разложениях. Это действие обыкновенно состоит в удалении, в связывании продуктов диссоциации (O, Cl, J), а это обстоятельство, постоянно нарушая равновесие, не допускает диссоциации до предела, и таким образом разложение становится непрерывным.[1]

Итак мы можем с одинаковым правом допускать, что хлорофилл действует только в качестве пигмента, поглотителя света,

---

[1] Участие самого вещества хлорофилла в реакции весьма возможно. В своем исследовании над хлорофиллом я указывал на вероятность разложения хлорофилла в живом растении (или вернее на одновременное существование двух обратных реакций), и теперь этот взгляд, повидимому, начинают высказывать и другие ученые, как, напр., Визнер. Только Визнер допускает образование и разрушение хлорофилла, между тем как я указал на существование двух взаимно превращающихся видоизменений. Этот факт я считаю одним из главных результатов своей работы, и любопытно, что, несмотря на обширное развитие литературы хлорофилла, он еще никем не был усмотрен. Замечу, кстати, что зеленение филлоксантина я считал окислением (хотя и приводил доводы pro и contra), теперь я склоняюсь к противному взгляду. Становится до некоторой степени вероятным, что различие этих двух пигментов находится в связи со степенью окисления железа, по крайней мере, любопытные, по к сожалению мало изученные, соединения закись-окиси железа представляют много сходства с реакциями хлорофилла. К этому предмету, занимающему меня более двух лет, я надеюсь вскоре вернуться.

Визнер полагает, что разложение хлорофилла в растении обусловливается, главным образом, желтыми лучами; этого еще нельзя считать строго доказанным, хотя оно вероятно a priori, из сравнения спектров хлорофиллина и филлоксантина.

или в то же время — химически, но во всяком случае не подлежит сомнению, что его роль находится в зависимости от его оптических свойств.

В том, что на разложение углекислоты действуют именно лучи, поглощаемые хлорофиллом, а не другие, можно убедиться еще и следующим путем. Во-первых, как уже замечено, между линиями B и C, где лежит maximum разложения, поглощение полное, так что мы вынуждены принять, что световая волна не может здесь непосредственно действовать на частицы углекислоты: она должна предварительно превратиться в иного рода движение, в движение частиц хлорофилла. Следовательно, относительно главных действующих лучей едва ли может оставаться какое сомнение. Во-вторых, можно показать, что если бы действовали другие лучи, а не те, которые поглощены, то это должно было бы обнаружиться известными оптическими явлениями. Энергия, необходимая для разложения углекислоты, равняется, примерно, 1% всей лучистой энергии, получаемой от солнца данною площадью листа (как я это вычислил в своей работе над хлорофиллом, на основании цифр Пулье и Буссенго). Но мы теперь знаем, что главное действие ограничивается частью спектра, лежащего между B и E. Ей следует приписать, на основании всех согласных между собою опытов с хромистокалиевой солью, до 90% всего действия. Этой полосе спектра (на основании данных Ламанского) соответствует около $^2/_5$ теплового действия всего спектра. Но мы ни в каком случае не превысим действительности, если допустим, что лист пропустит $^1/_5$ этого количества, что составит около 8% всей энергии, получаемой листом; но на разложение тратится, как мы видели, около 1%. Следовательно, если бы разложение происходило не на счет лучей, поглощенных хлорофиллом, а на счет остальных лучей, то во время разложения интенсивность проходящих лучей должна была бы понижаться на $^1/_8$, между тем глаз может видеть различия в $^1/_{60}$—$^1/_{120}$. Если еще к этому прибавить, что разложение не везде (в означенной части спектра) равномерно, что в

некоторых частях спектра оно сильнее, в других слабее, то из этого окажется, что в спектре луча, прошедшего чрез лист, разлагающий углекислоту, должны обнаружиться заметные minima света, т. е. добавочные абсорбционные полосы. Так, напр., если бы разложение происходило так, как предполагает Пфеффер, то в полосе света, соответствующей его орселину, должно разлагаться 50% всего количества углекислоты; но этой полосе соответствует $^1/_7$ всей энергии, а если принять опять, что чрез лист проходит всего $^1/_5$, то получим, что проходит около 3%, а на разложение потребно 0,5%, т. е. $^1/_6$ всего света этой части спектра — следовательно, здесь должна бы появляться темная полоса, чего не бывает.[1] Приведенные соображения основываются на цифрах несколько произвольных (но зато и минимальных), тщательная же проверка этой стороны вопроса будет первой задачей, которую я предполагаю выполнить при наступлении благоприятного времени года.[2]

Итак, в общем выводе, связь между поглощением и разложением едва ли может быть подвергнута сомнению, но еще нельзя решить, какое отношение рассматриваемое явление имеет с тепловым напряжением луча. Если в призматическом спектре maximum поглощения представляет в то же время и maximum теплового напряжения, и оба совпадают с maximum'ом разложения, то еще неизвестно, какое положение эти точки будут иметь в нормальном спектре, другими словами, еще неизвестно, будет ли луч, обладающий наибольшей энергией, всего сильнее поглощаться. Положение maximum'а и

[1] Хотя такое предположение невероятно, тем не менее, я проверял его, т. е. сравнивал спектр листа нормального, разлагающего углекислоту, и того же листа, убитого погружением в кипящую воду, и различия не оказалось.

[2] Но даже и в такой форме эти соображения имеют реальную почву и тем отличаются от праздных, ничего не доказывающих и представляющих какой-то ребяческий характер соображений Пфеффера о том, какой маленький кусочек крахмала должен при этом образоваться.

предел в красных лучах могут быть удовлетворительно объяснены одним поглощением, но сравнительно незначительное разложение (несмотря на сильное поглощение) в синей части требует добавочного предположения, что в этом процессе играет роль и энергия луча.[1]

V. Не имеют ли лучи, поглощаемые хлорофиллом, еще специального отношения к совершающемуся процессу разложения углекислоты? Этот вопрос также требует разъяснения. Для того, чтобы разъяснить его, требуется уяснить самую сущность фотохимических явлений, т. е. отношение превращающихся тел к действующей силе. Прежде, как известно, фотохимические явления приписывали так называемым химическим лучам. Несостоятельность этого взгляда обнаружилась, когда стало ясно, что каждому телу свойственны свои химические лучи, примером чего могут служить изучаемые явления разложения углекислоты. Исследования Дрепера, показавшие, что луч света, прошедший чрез тело, в котором он вызывает превращение, теряет способность вызывать то же явление в новом количестве вещества, находящемся позади первого, исследования Гершеля и мисс Сомервиль над изменением растительных пигментов под влиянием комплементарных лучей спектра, наконец, последние исследования Шульц-Зеллака над поглощением света различными серебряными солями и их разложением,— все эти факты приводят к общему заключению, что фотохимическое действие находится в связи с поглощением лучей, что только тот луч, который поглощается, может вызывать превращение. Но, если в самом факте не может быть сомнения, то его объяснение еще может быть различно. Зависит ли только разложение от поглощения или эта зависимость обоюдная. Другими словами, могла ли бы та или другая реакция, вызываемая специальными лучами, поглощаемыми телом, быть вызвана и другими лучами, если бы они поглощались,

[1] Оно не может быть объяснено только сильной дисперсией.

или такое предположение невозможно по самой природе вещей. Имеем ли мы здесь дело с явлением аналогическим с явлениями созвучия, или еще ближе, с явлениями соотношения между лучеиспусканием и поглощением, или же химические явления не зависят от формы сообщаемого движения, лишь бы только это движение сообщалось частицам. Весьма любопытные явления, открытые в недавнее время, о разложениях, вызываемых сотрясениями от звуковых волн, скорее заставляют предполагать, что и здесь имеет значение вид волны. Но с другой стороны, только что указанные явления влияния посторонних тел, пигментов, делают это предположение менее вероятным. Повидимому, в опытах Фогеля, лучи, не поглощающиеся самим телом, действуют так же энергично (а может быть и энергичнее?). Ввиду этой неполноты наших сведений об отношении изменяющегося тела к изменяющему его лучу, вполне законен вопрос: не зависит ли разложение CO_2 и H_2O при действии лучистой энергии от каких-нибудь специальных, поглощаемых ими лучей. Известны ли абсорбционные спектры этих газов? Относительно одного спектра мы имеем весьма неполные данные, относительно другого, насколько мне известно, только одну догадку. Спектр водяного пара был предметом довольно обстоятельных исследований Янсена. Янсен мог указать на некоторые из так называемых теллурических или Брюстеровых линий, как на несомненно принадлежащие водяному пару. Что касается до углекислоты, то кроме опытов Тиндаля, показывающих, что она, подобно другим сложным газам, поглощает тепловые лучи энергичнее, чем атмосферный воздух, мне известно только мнение Ангстрёма, предполагающего, что некоторые атмосферные линии принадлежат углекислоте. В пользу своего взгляда Ангстрём приводит следующий довод: если наблюдать атмосферические линии зимой, в сильные морозы, то можно убедиться, что некоторые из них, принадлежащие водяному пару, значительно ослабевают, между тем как другие не только не ослабевают, но кажутся даже более резкими. Эти-то линии

Ангстрём и считает за линии углекислоты, так как их нельзя приписать другим телам.[1] Если мы обратим внимание на положение, занимаемое этими несомненными линиями водяного пара и вероятными линиями углекислоты, то заметим, что они скучены именно в той части спектра, которая поглощается хлорофиллом. Ангстрём прямо высказывает эту мысль: он говорит, что спектр потухающей зари напоминает спектр хлорофилла.[2] На рис. 7 изображен дифракционный спектр с линиями водяного пара и углекислоты (I, по Ангстрёму), а под ним спектр хлорофилла (II, определенный мною при помощи решетки в 1200 линий в дюйме) и зари (III, по описанию Ангстрёма); в последнем спектре чертами означены те части, в которых поглощение представляется таким, т. е. не сплошным; крестиком означено место наименьшего поглощения. Итак, к свойствам хлорофилла присоединяется еще одно, он поглощает те же лучи, которые поглощаются водяным паром и углекислотой, и следовательно такие, от которых можно ожидать наиболее энергического разлагающего действия. Справедливо ли подобное предположение или это только совпадение, решит будущее. Но если оно окажется справедливым, мы получим в хлорофилле новый разительный пример приспособления органа к его функции.[3]

---

[1] В сильные морозы, в декабре и январе этого года, я имел случай убедиться в справедливости этого наблюдения; особенно резко выделяется линия α, так что с первого взгляда легко ошибиться, приняв ее за C, C за B и т. д.; B также становится очень широкой, δ — широка, но не очень резка. Остальные атмосферические линии были сравнительно с этими значительно слабее, чем, напр., в августе месяце.

[2] Ангстрём — лучший судья в этом деле. Его «Spectre normal du Soleil» всем известно, но менее известно, что ему же принадлежат первые точные исследования спектра хлорофилла.

[3] При этом может родиться целый ряд любопытных вопросов, как, напр., о соотношении между окраской морских водорослей и глубиной, на которой они вырастают, о значении пигментов, сопровождающих хлорофилл, и проч.

Из всего сказанного можно сделать следующие заключения о направлении, которое должны принять будущие исследования и о современном положении вопроса.

Для дальнейшего разъяснения дела существенно важно:

I. Определить, существуют ли второстепенные maxima (т. е. выдающиеся зубцы на полученной кривой), соответствующие абсорбционным полосам хлорофилла, а также тщательнее исследовать разложение в синей и фиолетовой части спектра, чтобы проверить предположение — не представит ли кривая при перечислении на дифракционный спектр повышения в этой части.

II. Определить, если окажется возможным, положение maximum'а разложения в спектре решеток. Этот опыт можно считать решающим опытом, experimentum crucis, для вопроса — от какого свойства луча зависит разложение.

III. Определить (посредством пиргелиометра и столбика Меллони) отношение между количеством тепла, получаемым листом, поглощаемым хлорофиллом и затраченным на процесс разложения.[1]

Указав на эти задачи, я оставляю за собой право на их разрешение указанным мною путем.

Обсуждение уже полученных фактов приводит к следующим заключениям:

1) Теория Сакса о случайном совпадении разложения со световым напряжением, противоречащая логике, противоречит и фактам.

2) Касательно связи между разложением и энергией луча нельзя притти ни к какому заключению, пока неизвестна последняя.

3) Связь между поглощением света хлорофиллом и разло-

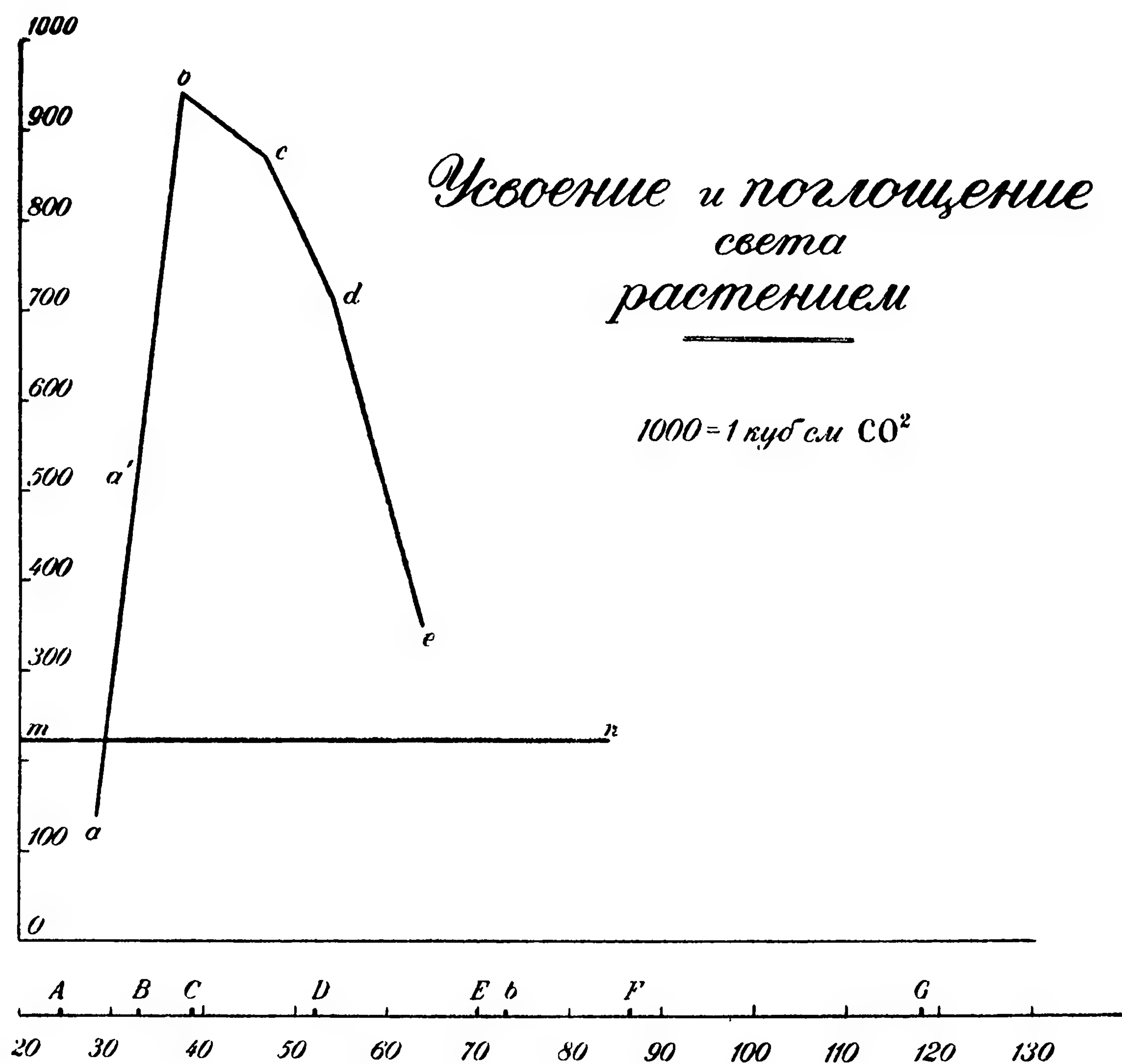
[1] Здесь, разумеется, не указаны общие вопросы: о распределении тепла в спектре решеток, об абсорбционном спектре углекислоты и проч., выходящие из области ботаники.

жением углекислоты, между затраченной силой и производимой работой не подлежит сомнению.

4) Хлорофилл может действовать или вообще как пигмент, т. е. как тело, задерживающее, превращающее и передающее энергию луча, или как вещество, поглощающее известные лучи, специально вызывающие разложение углекислоты и воды, или, наконец, как вещество, участвующее в реакции.

Таков в настоящем положении занимающий нас вопрос. Полагаю, что я отнесся к нему по возможности объективно, не предрешая его, не забегая вперед фактов, и вправе повторить известное изречение: Je n'impose rien, je ne propose même rien,— j'expose.

Петровское-Разумовское
20-го декабря 1874 г.


Усвоение и поглощение света растением
1000 = 1 куб см CO^2
1000
900
800
700
600
500
400
300
100
0
b
c
d
e
a'
a
m
n
A
B
C
D
E
b
F
G
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

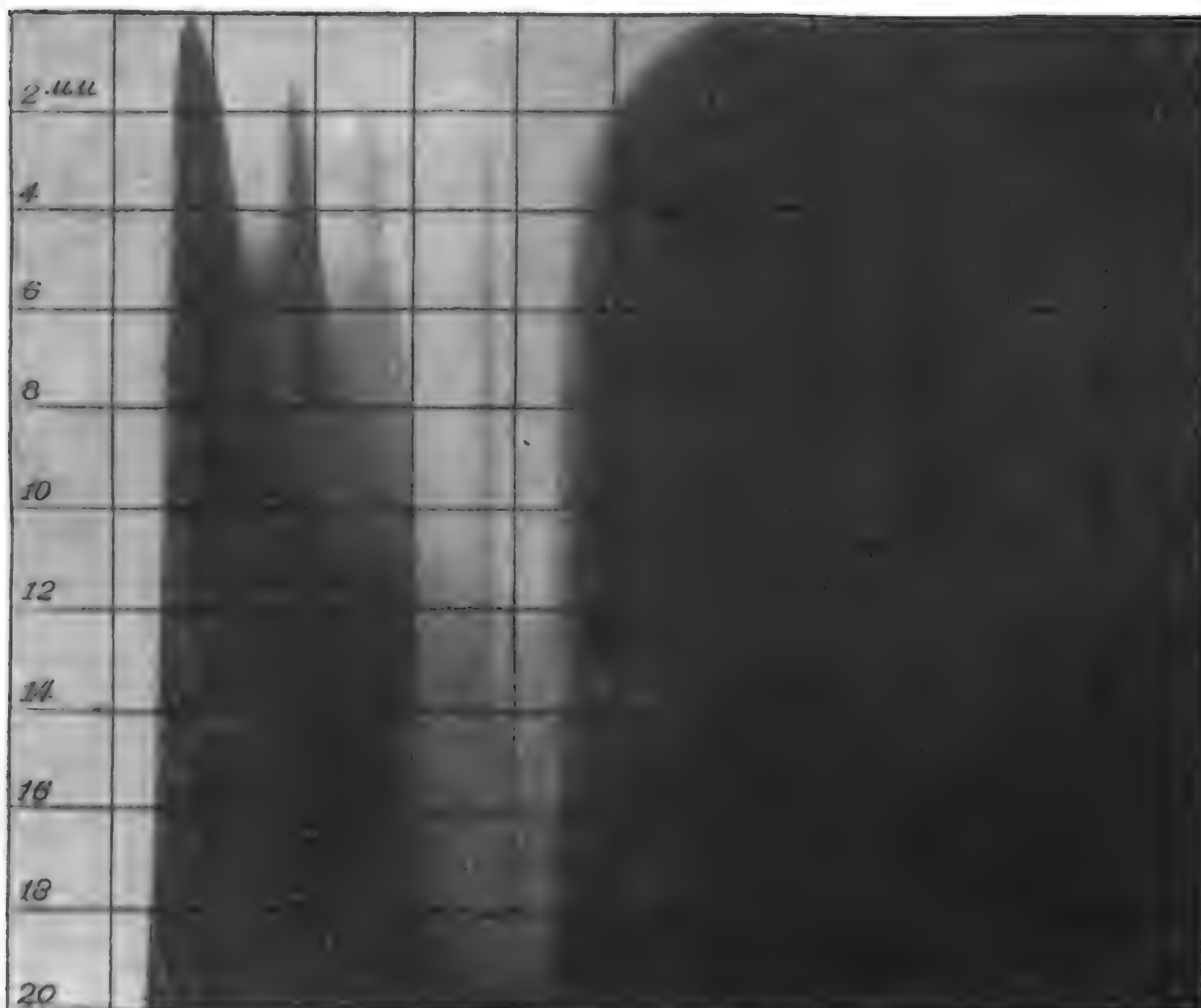
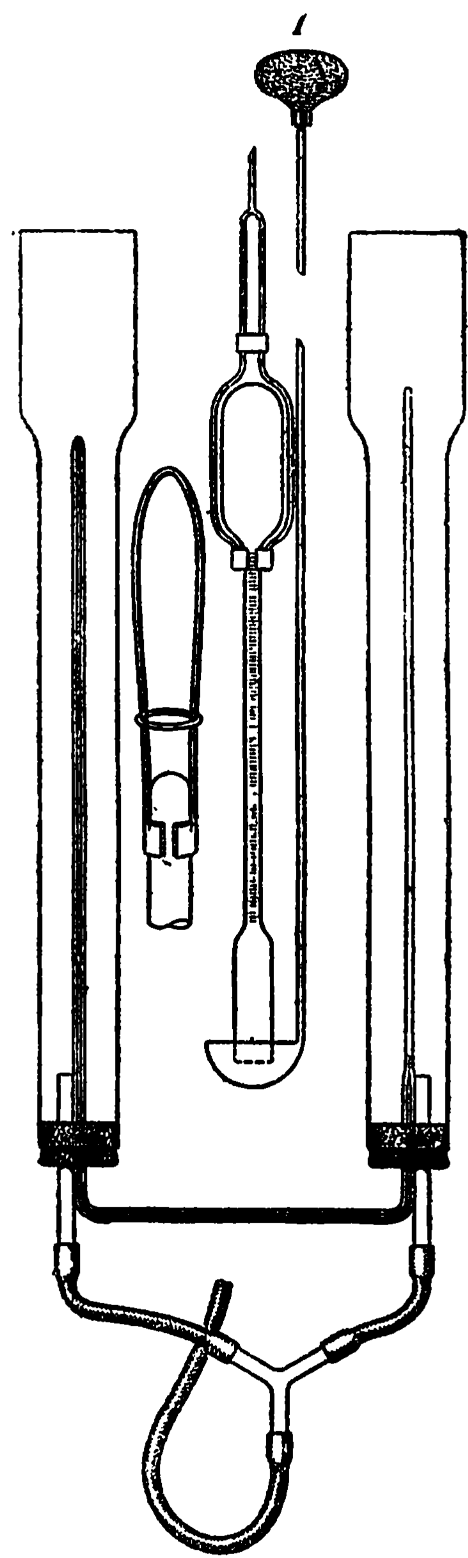
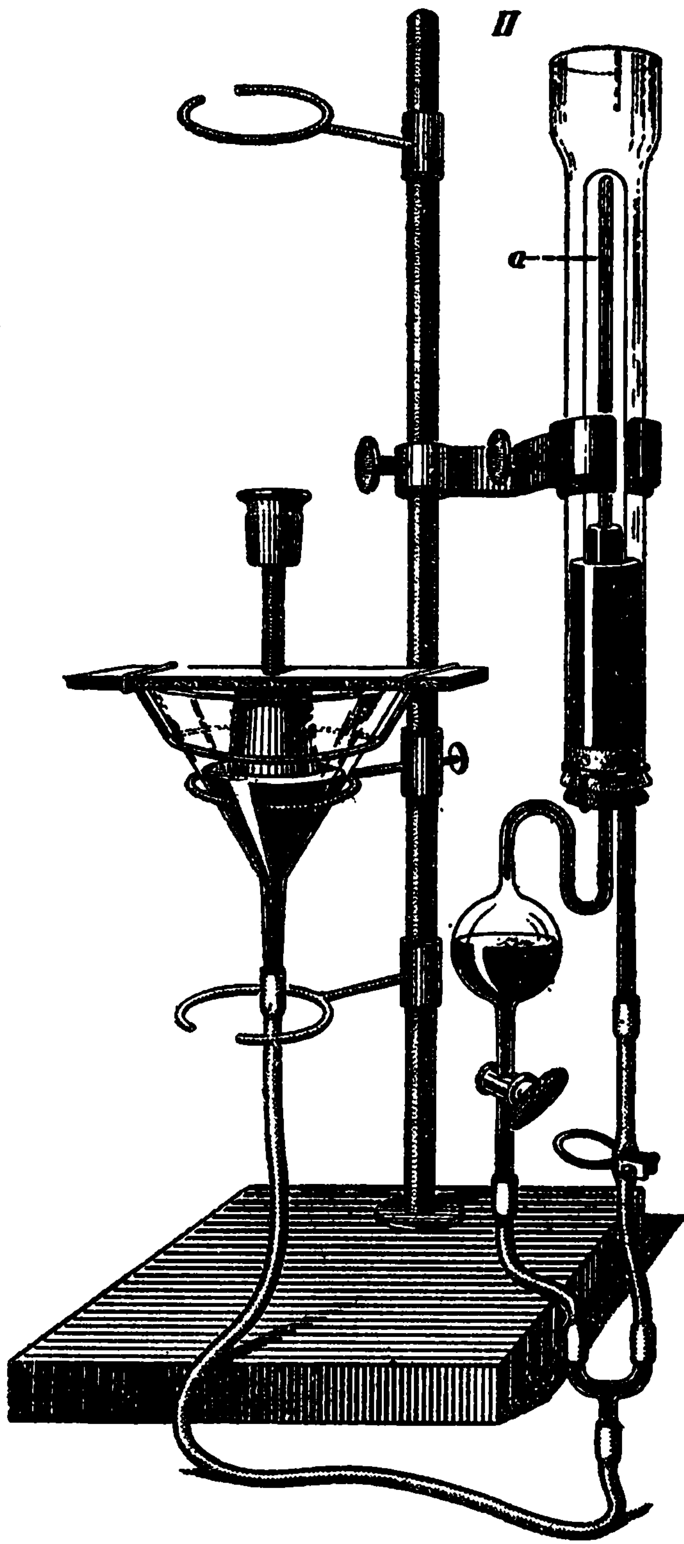
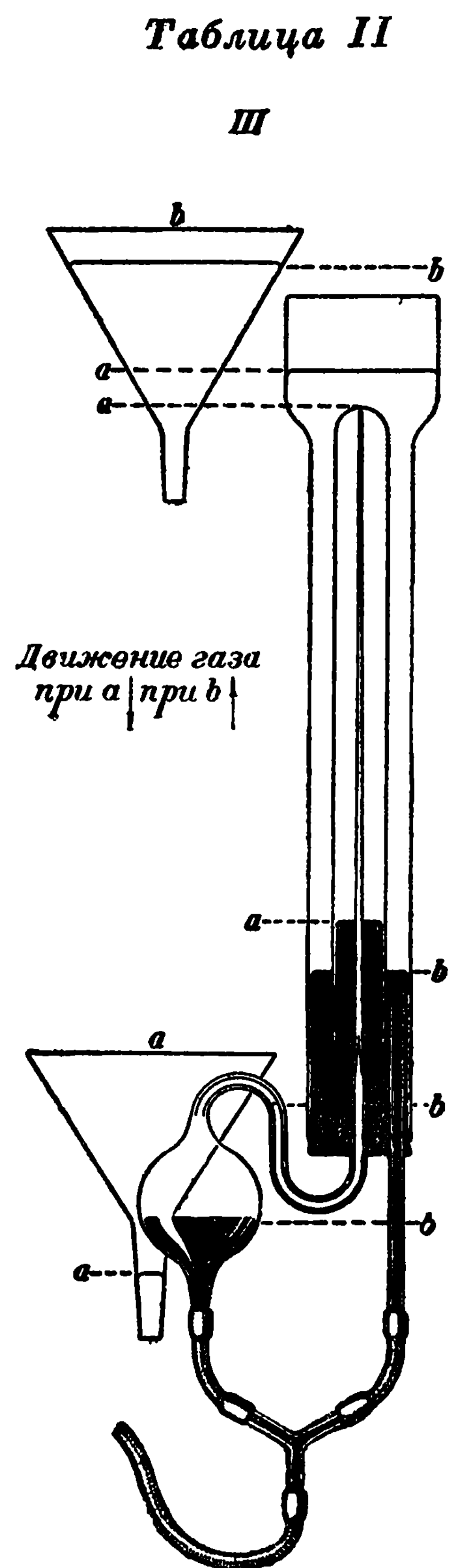

2 мм
4
6
8
10
12
14
16
18
20

Таблица II









ПОЛОЖЕНИЯ К ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ „ОБ УСВОЕНИИ СВЕТА РАСТЕНИЕМ“

1) Воззрения химиков, рассматривающих белковые вещества как сочетания сахаристых веществ с аммиаком, вполне согласуются с физиологическими фактами.

2) Появление аспарагина находится в связи с ростом на счет белковых веществ.

3) Теория распространения аспарагина, предложенная Пфеффером, поддерживаемая Саксом, противоречит законам физики.

4) Опыты Пфеффера, имеющие целью доказать участие аспарагина в образовании белковых веществ, этого не доказывают: но самый факт вероятен.

5) Отношение корней к растворенным веществам еще не вполне разъяснено.

6) Эндосмометр Баранецкого, имеющий целью устранить гидростатическое давление, этого неудобства не устраняет.

7) Способ Дютроше (несправедливо называемый методом Сакса), т. е. определение кислорода по числу пузырьков, не точен и с успехом может быть заменен способом Шютценбергера.

8) Вопреки мнению Крауза, окулярный микроспектроскоп не имеет никакого значения для физиолога; напротив того, объективный микроспектроскоп открывает обширное поприще для исследований.

9) Открытия Прингсгейма в области растительных пигментов объясняются экспериментальной ошибкой.

10) Вопреки Саксу, учение о дыхании растений не очевидно a priori и нуждается еще в фактических доказательствах.

11) Опыты Брефельда, направленные против Пастёра, ничего не доказывают.

12) Опыты Дегерена над испарением растений ложно им истолкованы.

13) Для объяснения явлений *геотропизма* необходимо обратить внимание на упругость отдельных тканей.

14) Исследования Мюллера значительно способствовали уяснению явлений *гелиотропизма*.

15) Деление клеточек может быть обьяснено простыми механическими причинами.

16) Исследования Пфеффера не подвинули вопроса о причине движения раздражительных органов; возможно, что эта причина лежит в явлениях электро-диффузии.

17) Возражение Негели, что теория Дарвина не в состоянии объяснить происхождения морфологических признаков, нисколько не умаляет значения этой теории.

18) В симметрии цветка мы имеем пример признака, по-видимому, чисто морфологического, но в сущности—физиологического.

19) Открытие явления самопроизвольного зарождения в тех условиях, в каких искали его, не только не венчало бы здания теории Дарвина, как обыкновенно полагают, но даже явилось бы существенным для нее препятствием.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ОТ АМПЛИТУДЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Журн. Русск. физ.-хим. О-ва,
XVI, ч. хим. отд. 1.
1884, 406—412.

Начиная с 1867 года, под свежим еще впечатлением открытия диссоциации углекислоты С. Клер Девилем, я пытался свести и разложение углекислоты в растении на явление диссоциации, вызываемой лучистой теплотой. Это воззрение шло в разрез с господствовавшим в физиологии убеждением, что разложение CO_2 зависит не от теплового, а от светового напряжения лучей (именно от желтых лучей спектра), но уже в 1869 году мне удалось обнаружить всю несостоятельность этого убеждения, указав на экспериментальную ошибку, которой оно было обязано своим происхождением, и доказав своими опытами, что *в пределах видимого спектра* тепловая кривая и кривая, выражающая разложение углекислоты растением в различных лучах спектра, имеют согласное направление.

При дальнейшем исследовании этого вопроса [1] я показал, что разложение углекислоты зависит от лучей, поглощаемых хлорофиллом, и что maximum разложения лежит в красной части между линиями B и C, где помещается главная абсорбционная полоса хлорофилла. Но уже тот факт, что синие лучи,

---

[1] Журнал Русского химического Общества, 1873.

поглощаемые хлорофиллом, в такой же степени, как и красные, не вызывают почти никакого действия, доказывал, что одного условия поглощения недостаточно для объяснения действия света, что лучи, одинаково поглощающиеся, действуют далеко не одинаково и что, следовательно, дальнейшего объяснения должно искать не в природе вещества, а в природе лучей. Вследствие этого во второй своей работе я вновь и подробно остановился на защите воззрения, что фотохимический процесс разложения углекислоты *может быть объяснен* нагреванием, вызываемым лучистой энергией.[1] Воззрению этому прежде всего противоречило очень распространенное убеждение, что maximum теплового эффекта принадлежит темным лучам, за красным пределом спектра, между тем как разложение CO_2 зависит, как сказано, от красных лучей. Для устранения этого кажущегося противоречия я указывал на различие между тепловым эффектом отдельных световых волн (зависящим от их живой силы) и тепловым эффектом целых световых пучков (зависящим, кроме первой причины, еще от дисперсии). Различие это, как известно, выясняется из сравнения тепловой кривой в нормальном и в призматическом спектре. Я указывал далее, что должно делать строгое различие между средней температурой тела (термометра, столбика Меллони) и высшей температурой, которой могут достигать, под влиянием лучистой теплоты, отдельные частицы тел. Так, напр., в темной части призматического спектра, где показания термометра наибольшие, температура зависит не от того, что эти лучи вызывают наибольшее нагревание отдельных частиц, а от того, что, вследствие своей скученности, эти пучки лучей вызывают нагревание более значительного числа частиц, не доводя, быть может, ни одной из них до тех температур, до которых они достигают в частях спектра, где показания термометра (вследствие более

---

[1] «Об усвоении света растением», СПБ., 1875, и Annales de chimie et de physique, 1877.

значительной дисперсии) не так высоки. Между тем очевидно, что химическое разложение должно зависеть от наивысшей температуры, достигаемой отдельными частицами, а не от средней температуры всей массы тела или окружающей среды.[1] Я указал, наконец, что, быть может, загадочность фотохимических явлений, заключающаяся в том, что энергические реакции происходят, повидимому, при обыкновенной температуре, именно тем и объясняется, что при действии лучистой энергии частицы тел (поглощающие свет) могут достигать очень высоких, нам неизвестных температур, оставаясь окруженными сравнительно холодной (не поглощающей света) средой, чем осуществляется условие, особенно благоприятное для диссоциации (tubes chaud et froid С. Клер Девиля).[2]

Но если разложение CO_2 определяется тепловой энергией луча, то эта зависимость должна обнаружиться в нормальном спектре, где влияние дисперсии устранено. Перечисление на

---

[1] Совершенно сходные воззрения на значение частичного нагревания были высказаны несколькими годами позднее В. Лермантовым в Ж. Р. Х. О. за 1879 г.

[2] Сходный взгляд на эту особенность фотохимических процессов высказал позднее Дит (в Encyclopedie Chimique Фреми. 1882, стр. 682). Еще ранее («Спектральный анализ хлорофилла», СПБ., 1871) я показал, что количество тепла, полученное зеленым листом, приблизительно во сто раз превышает то количество, которое необходимо для разложения CO_2. Каковы же температуры, которых могут достигать частицы тел под влиянием солнечного света, мы можем только догадываться. Вычислено, напр., что платиновая пластинка в $^1/_{500}$ мм толщиной могла бы расплавиться от действия солнечного луча, если б не охлаждалась чрез лучеиспускание. Но что же эта $^1/_{500}$ мм в сравнении с размерами химических частиц? Уже Румфорд, защищая мысль, что фотохимическое действие может быть объяснено нагреванием, указывал, что это действие может только распространяться на почти бесконечно малые пространства. В 1798 году он писал: «The heat which is generated by the absorption of the rays of light must necessarily *at the moment* of its generation exist in almost infinitly small spaces and consequently it is only in bodies that are inconceivably small that it can produce durable effects in any degree indicative of its extreem intensity».[1]

нормальный спектр результатов, полученных Ламанским и позднее Мутоном, во всяком случае доказывало, что высшая точка тепловой кривой лежит в видимой части нормального спектра, хотя до полного совпадения maximum'а теплового действия и maximum'а разложения CO_2 было еще далеко. Тем не менее я упорно продолжал высказывать надежду, что более точные исследования приведут к более полному совпадению этих точек.[1] Предсказание вполне оправдалось. На основании исследования Ланглея (в нормальном спектре, при помощи болометра) оказалось, что высшая точка тепловой кривой лежит в красной части спектра, приблизительно между B и C, т. е. там именно, где лежит характеристическая абсорбционная полоса хлорофилла и maximum разложения CO_2.[2] Новейшие исследования Абнея подтверждают это совпадение в еще более поразительной степени. Высшая точка приводимой этим ученым кривой лежит на двух третях между длиной волны = 0,000600 и длиной волны = 0,000700 миллиметра — скажем при 0,000666.[3] Средина же абсорбционной полосы хлорофилла, а следовательно, и положение maximum'а разложения углекислоты соответствуют длине волны = 0,000664 мм. Можно ли ожидать более совершенного совпадения?

Таким образом оказывается, что хлорофилл поглощает и затрачивает на разложение CO_2 те именно лучи солнечного спектра, которые обладают наибольшей тепловой энергией; в этом факте, вероятно, заключается разъяснение вековой загадки — разъяснение роли хлорофилла в этом процессе. В то же время исследование над разложением углекислоты в спектре доставляет как убедительное доказательство, что

[1] «О физиологическом значении хлорофилла». Речь на 2 общем заседании VI съезда русских естествоиспыт. и гр., стр. 67.

[2] См. мою заметку «La distribution de l'énergie dans le spectre solaire et la chlorophylle» в Comptes Rendus. 1883.

[3] *Capt. Abney.* The influence of water и пр. Proceedings of the Royal Society, 1883, june 21.

фотохимические явления зависят не от одних только свойств тела (способности поглощать лучи), а от самой природы лучей, т. е. от количества доставляемой ими энергии. Хлорофилл одинаково поглощает и красные и синие лучи, но эти последние едва разлагают углекислоту, очевидно, потому, что не обладают необходимой энергией. Против этого могут возразить: но ведь именно эти лучи — синие, фиолетовые, ультрафиолетовые в особенности — отличаются своим химическим действием, прежде они даже исключительно пользовались названием химических? Ответ на это возражение дает термохимия. Между тем как для разложения CO_2 в растении требуется (по Бертло) 48 или даже 68 Cal, разложение, напр., AgJ поглощает только 13 Cal., не говоря уже о соединении H и Cl и других экзотермических реакциях, в которых свет играет роль толчка.[1] Мне неизвестно фотохимического явления, которое обусловливалось бы таким значительным поглощением тепла, как диссоциация CO_2, и зависело от лучей малой длины волны, обладающих, как мы теперь знаем, малой тепловой энергией. Не вправе ли мы на этом основании сделать заключение, что фотохимическое разложение зависит вообще от энергии световой волны?

Но не можем ли мы заглянуть еще глубже в самый механизм фотохимических явлений? До сих пор при сравнении между собой световых волн обращалось исключительное внимание на их длину и на быстроту колебаний, между тем данные, заключающиеся в исследованиях Ланглея и Абнея над распределением энергии в нормальном спектре дают, повидимому, возможность получить приблизительное представление о другой величине, об относительной амплитуде волн различной длины. Исходя из простейшего предположения, что энергия световой волны пропорциональна квадрату амплитуды и обратно про-

[1] Подобным же образом гелиотропическое склонение органов, зависящее преимущественно от лучей малой длины волны, должно быть, вероятно, отнесено к явлениям экзотермическим, так как оно обусловливается поглощением кислорода.

порциональна длине волны, я попытался, на основании кривой Ланглея, вычислить амплитуды для нескольких волн, в видимой части спектра через каждые 0,000100 миллиметра, а для темной части (для того, чтобы не растягивать без нужды рисунка, см. рис. 14 стр. 121) — через каждые 0,000200 миллиметра длины волны. Результат представлен в верхней части прилагаемого рисунка; из него видно, что амплитуды, начиная с темной тепловой части спектра (слева), возрастают, достигают максимума в красной части спектра (приблизительно при 0,000700 мм) и затем к синему концу его (вправо) быстро убывают. Таким же образом на основании кривой Абнея я вычислил подробнее амплитуды для красной части спектра, именно для волн 0,000720, 0,000700, 0,000666 и 0,000600. Как видно из нижней фигуры рисунка, наибольшая амплитуда соответствует длине волны=0,000666. Именно в волнах этой длины (т. е. 0,000664), как мы знаем, происходит самое энергичное разложение CO_2, волны же с малой амплитудой (вправо верхняя фиг.) способны вызывать только реакции менее энергичные (каково разложение AgJ и пр.).

Прибегая к наглядному сравнению, мы можем сказать, что крушение частицы углекислоты в волнах светового эфира происходит, как и следовало ожидать, не там, где медленно колышется тяжелая зыбь, и не там, где быстро пробегает мелкая рябь, а там именно, где следуют один за другим крутые, высокие валы.

Для проверки этого взгляда, особенно интересно сравнить действие различных световых волн, одинаково поглощаемых одним и тем же телом (все равно, будет ли тело разлагаться само по себе или при содействии сенсибилизатора). По отношению к CO_2, мы уже видели, что синие лучи, поглощаемые хлорофиллом, так же, как и красные, оказывают только очень слабое разлагающее действие. Сходное явление представляется самим хлорофиллом. Как все сенсибилизаторы, он разлагается, обесцвечивается под влиянием света, но это обесцвечивание

происходит быстро в красных, очень медленно в синих лучах. То же правило, повидимому, оправдывается и в других случаях. Остановлюсь на одном примере. Г. Дрепер упоминает, что для фотографирования нормального спектра в части, соответствующей промежутку между волнами 0,000435 и 0,000400, нужно в десять раз менее времени, чем для фотографирования части, соответствующей промежутку между 0,000351 и 0,000344.[1] Эти части спектра поглощаются серебряными препаратами, повидимому, одинаково; следовательно, более слабое действие коротких волн должно приписать природе самих волн и, конечно, не *возрастающей* (с уменьшением длины волны) быстроте колебания, а *убывающей* энергии или амплитуды волн.

Не дают ли приведенные факты право заключить, что фотохимические явления вообще зависят от амплитуды световой волны, что реакции энергические зависят от волн с большой амплитудой, реакции менее энергические — от волн с малой амплитудой колебания; что, наконец, из световых волн, поглощаемых одним и тем же телом, волны первой категории действуют энергичнее, чем волны второй категории?[2] Если это предположение оправдывается и в других случаях, то не получим ли мы в нем зачаток рациональной теории фотохимических реакций, не удастся ли нам раскрыть, так сказать, молекулярный механизм этих явлений, до сих пор составляющих самую темную область учения о свете?

---

[1] *H. Draper*. Diffraction spectrum photography. American Journal of Sc. 1873, p. 401.

[2] Говоря, что фотохимическое действие зависит от амплитуды световой волны, я не хочу этим сказать, что оно пропорционально ей (вероятнее, что оно пропорционально ее квадрату), я хочу только указать на связь этих явлений, главным образом, с амплитудой, а не с длиной волны или частотой колебаний, на которые до сих пор было почти исключительно обращено внимание.

ФОТОХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ КРАЙНИХ ЛУЧЕЙ ВИДИМОГО СПЕКТРА

Изв. О-ва люб. ест., антр. и этн., т. 48, в. 2. Тр. отд. физ. наук, 5, 2, 1893, 1—2.

(***Сообщено 11 февраля 1892***)

Какие лучи солнечного спектра оказывают наибольшее химическое действие? Вопрос этот еще недавно разрешался очень определенно, а теперь представляется открытым.

Известно, как долго и упорно держалось мнение, что химическое действие возрастает по мере приближения к фиолетовому концу спектра и за его пределом. Этим лучам синим, фиолетовым, ультрафиолетовым, даже исключительно было присвоено название *химических*. В настоящее время, особенно после открытия сенсибилизаторов и возможности фотографирования при помощи темных тепловых лучей (Абней), это воззрение, как известно, совершенно покинуто.[1] Основным законом фотохимии мы должны признать следующий:

I. *Все световые волны, независимо от их длины, могут оказывать химическое действие.*

---

[1] Как на любопытный пример «переживания» устарелых идей, можно разве сослаться на известный Chemiker-Kalender, из года в год (до 1892 включительно), перепечатывающий классический (заимствованный из физики Жамена) рисунок трех кривых: распределения тепла, света и *химического действия* в солнечном спектре.

На возникающий вслед за тем вопрос: почему в одном случае действуют одни лучи, в другом — другие, современная фотохимия дает также вполне удовлетворительный ответ. Действуют те лучи света, которые поглощаются изменяющимся или сопровождающим его (и также изменяющимся) телом. Все современное учение о сенсибилизаторах, вся ортохромная фотография исходят из этого положения. Закон этот обыкновенно связывают с именем В. Гершеля, но он был еще ранее высказан Гротгусом.[1]

Следовательно, второй по своей общности закон формулируется так:

II. *Действуют те световые волны, которые поглощаются изменяющимися телами.*

Но далее естественно возникнет третий вопрос: зависит ли фотохимическое действие исключительно от свойств поглощающего тела или, в то же время, от свойств поглощаемого луча? Другими словами: два луча, в одинаковой степени поглощаемые одним и тем же телом, будут ли оказывать одинаковое или неодинаковое действие? Мне кажется, что и в этом направлении начинает выясняться известного рода закон.

Занимаясь в течение двадцати пяти лет изучением физиологического процесса, представляющего в то же время самое величественное фотохимическое явление на поверхности земли, я на первых же порах пришел к выводу, допускающему теперь, как мне кажется, более широкое обобщение. На основании уже теперь имеющихся фактов, мне кажется, мы вправе заключить, что фотохимические процессы зависят от энергии луча (измеряемой его тепловым эффектом), так что в пределах видимого спектра действие различных лучей возрастает не по направлению к фиолетовому, как это было принято, а наоборот, по направлению к красному концу. Наиболее энергического действия

[1] В 1818 году, в сообщении, сделанном в Curländische Gesellschaft für Literatur und Kunst и напечатанном в извлечении в Gilb. Ann. 1819.

мы должны искать в красной части спектра, как это и оправдывается, в применении к разложению углекислоты, в зеленых частях растения. Убедившись в справедливости этого воззрения, в применении к углекислоте, я постоянно искал новых фактов, которые могли бы позволить обобщить это толкование единичного явления. Они не замедлили явиться. В сообщении, сделанном в заседании Физического отделения 15 декабря 1888,[1] я указал на них. Заключались они в том, что некоторые наблюдения (Шрамм и Закжевский, Эдер) подметили, что maximum поглощения света и maximum химического действия не совпадают, и последний maximum всегда смещается в сторону красного конца спектра. Фактам этим я дал такое объяснение: из двух лучей, поглощаемых телом, тот, который ближе к красному концу, обладает большей энергией, вследствие чего и maximum действия должен перемещаться в том же направлении.

В 1890 году появилась работа Акуорта, в которой автор приводит длинный ряд подобных же наблюдений, но оставляет их без объяснения.[2] Липман позднее также указывает на этот факт неполного соответствия между поглощением и химическим действием света, но также не предлагает объяснения.[3] В сообщении, сделанном в заседании физического отделения 28 марта 1891,[4] я указал, что результат, полученный Акуортом, был мною предвиден в упомянутом выше сообщении и что возрастающее число фактов, очевидно, говорит в пользу предложенного мною объяснения.

Ввиду сказанного, я счел полезным подвергнуть более точному исследованию вопрос о действии двух крайних частей видимого спектра на разложение углекислоты в растении. Реакция эта интересна в том отношении, что представляет самый

---

[1] Зависимость химического действия от энергии луча.

[2] Acworth. Beziehung zwischen Absorbtion und Empfindlichkeit sensibilisirter Platten. Ann. d. Ph. u. Ch. 1890.

[3] Comptes Rendus. 1891.

[4] О соотношении между химическим действием и поглощением света.

резкий, так сказать, предельный случай занимающего нас явления. Если в пределах одной абсорбционной полосы замечается уже различие в действии смежных лучей, то, на основании защищаемого взгляда, различие должно выступить еще очевиднее, если сравнить действие двух абсорбционных полос (того же тела), лежащих одна в красной, другая в сине-фиолетовой части спектра. Именно такой абсорбционный спектр представляет хлорофилл, действующий, как сенсибилизатор в процессе разложения углекислоты.

Хотя самый факт, что синие лучи действуют в этом процессе слабее красных, можно было считать прочно установленным, но против методов, которыми он был добыт, можно было сделать возражения, вследствие чего до настоящего времени нельзя было привести точных цифр для количественной оценки этого различия в действии красных и синих лучей.

Вот эти методы и возражения, которые они возбуждают.

1) Исследуют действие света, пропущенного чрез цветную среду, напр., чрез желтую и синюю жидкость. Этот прием не точен, так как и свет, *прошедший* чрез цветную среду, бывает ослаблен и притом в различной степени, так что результаты опыта нельзя прямо между собою сравнивать.

2) Исследование производится в призматическом спектре. Неравномерная дисперсия в различных частях спектра делает полученные результаты несравнимыми между собою. Вводить же последующую поправку на дисперсию значило бы tacite допускать, что фотохимическое действие пропорционально напряжению света, на что мы не имеем права.[1]

3) Исследование можно было бы произвести в спектре ди-

[1] Оствальд, повидимому, считает это положение одним из доказанных законов фотохимии, но, по крайней мере, в применении к разложению углекислоты, это не верно. См. мою статью «Sur le rapport entre l'intensité des radiations solaires et la décomposition de l'acide carbonique par les végétaux», C. R. 1889 и «Физикохимические условия разложения углекислоты в растении», Журн. Р. химич. О-ва, 1890.

фракционном, но все попытки, которые я делал, при помощи превосходной Роуландовской решетки, не привели к удовлетворительным результатам, вследствие значительного ослабления света, в сравнении со спектром призматическим.[1]

Следовательно, для точного исследования нужно остановиться на разложении света призмою, устранив *экспериментально* погрешность, вытекающую из неравномерной дисперсии. Такой прием и был предложен сначала П. Бером, а потом мною.[2] Остановлюсь только на втором, так как первый неудобен в том отношении, что при нем опыты производятся не одновременно, а последовательно и потому требуют, чтобы напряжение света (солнечного) в течение всего опыта было постоянно. Я воспользовался приемом, давно употребляемым физиками для разложения спектра на комплементарные цвета, при помощи цилиндрической линзы и призмы с очень малым углом преломления.[3] Этим способом можно разделить спектр на две части или выделить из него два пучка, которые в *спектре нормальном занимали бы равные протяжения*. Таким образом сохраняется необходимое напряжение света, а полученные результаты можно без погрешности между собою сравнивать.

Не останавливаясь на подробностях производства таких опытов с газометрической стороны (я их излагал уже не раз), перехожу прямо к результату.[4] Спектр был разделен на две

---

[1] Даже Ланглей, работающий со своим болометром, чувствительность которого известна, пишет: «the prism is on the whole far more convenient than the grating»[12]. Ph. Mag. Jan. 1889.

[2] П. Бер (Comptes Rendus. 1878) предложил способ *последовательного*, я предложил способ *одновременного* наблюдения (Bulletin du Congrès international de Botanique, réuni à Pétersbourg, 1884, p. 122). После нас обоих выступил с ними Рейнке, тем не менее предъявляющий на них какие-то права. Но вопрос о приоритете очень просто разрешается хронологией.

[3] И именно — прибором Дюбоска, значащимся в его каталоге под № 351 фиг. 110.

[4] Опыты произведены в июле 1891 года.

равные (как уже сказано по отношению к нормальному спектру) части. В ярких полосах света (синей и желтой) помещались, в плоских трубках, равные зеленые поверхности листа, и по прошествии $^3/_4$ или 1 часа производился анализ газа. Действие двух пучков света (в среднем выводе из 6 опытов) выразилось для менее преломляющейся половины спектра цифрой 100, для более преломляющейся — 54. Уже этот результат говорит в пользу защищаемого воззрения. Но должно еще принять во внимание, что ширина абсорбционных полос, т. е. пучков света, в действительности вызывающих химический процесс, в той и другой половине спектра не равна. На прилагаемой фигуре изображен спектр хлорофилла испытуемого листа. Полоса в сине-фиолетовой части спектра (нормального) в три слишком раза шире полосы при фрауенгоферовых линиях B — C. Если разделить приведенные только что величины на протяжения *действующих* частей спектра, то получим для *среднего* луча в красной части 100, для *среднего* луча в сине-фиолетовой части 14, что и представлено графически на прилагаемом чертеже.

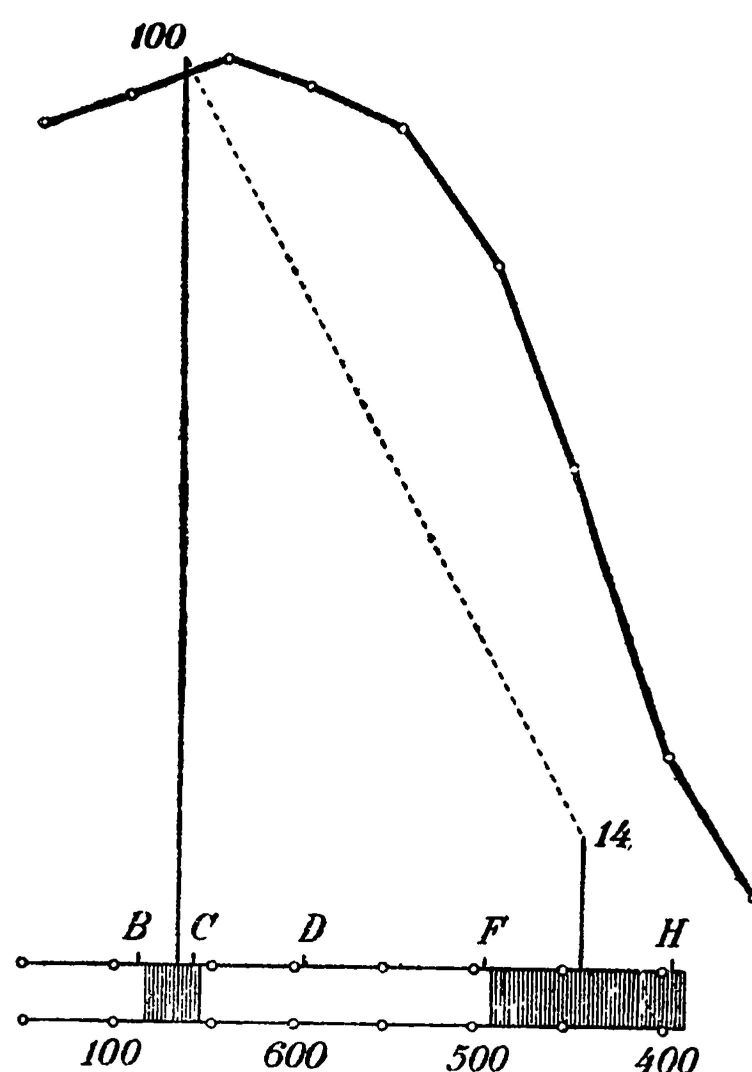


Рис. 1.

Из приведенного опыта, представляющего, если не ошибаюсь, первый пример *количественного* изучения химического действия двух групп лучей *одинаково поглощаемых* и *одинаково рассеянных*, — вытекает, что действие лучей красной части спектра значительно энергичнее действия сине-фиолетовой части. Какому же свойству лучей припишем мы это различие

в их действии? Как я высказывал еще в 1869 г. — очевидно, их энергии, возрастающей в том же направлении, как это видно из сопоставления с кривой Ланглея, представляющей распределение тепловой энергии в нормальном солнечном спектре.[1]

На основании этого результата, а равно и упомянутых многочисленных опытов над действием сенсибилизаторов, мы должны заключить, что, при прочих равных условиях, химическое действие лучей возрастает по мере приближения к красному концу спектра.[2] И единственное пока предложенное объяснение этого действия заключается в связи его с возрастающей в том же направлении энергией лучей.

На основании всего сказанного, мне кажется, мы вправе к первым двум фотохимическим законам присоединить еще третий:

III. *Химическое действие световых волн различной длины зависит от их энергии.*[3]

[1] Кривая эта построена на основании последних данных Ланглея, помещенных в Phil. Mag. за январь 1889.

[2] Уже после моего сообщения до меня дошла статья Липмана в «Revue des Sciences pures et appliquées. 30 janv. 1892. Липман указывает, что между тем, как в прежних его опытах главное препятствие заключалось в медленном действии красных лучей (для фиолетовых требовались минуты, для красных — часы), теперь задача извратилась: «C'est maintenant le rouge qui vient le mieux, c'est à dire que le but a été dépassé»[13].

[3] Или, быть может, выражаясь определеннее,— от их амплитуды. См. мою статью «Зависимость фотохимических явлений от амплитуды световой волны» Ж. Р. Химич. Общ. 1883, или стр. 212 настоящего сборника.

ИСКУССТВЕННЫЙ ПРОТОФИЛЛИН

(ХЛОРОФИЛЛ И РАЗЛОЖЕНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ РАСТЕНИЯМИ)

Comptes Rendus Acad. Sc. Paris. T. CII. 1886, p. 686—689

(перевод с французского)

При действии на спиртовой раствор хлорофилла водородом в момент его появления (водород получается при помощи цинка и уксусной кислоты) образуется продукт разложения желто-соломенного цвета в слабом растворе, коричнево-красный при дневном свете или красивого рубинового цвета при свете лампы, если раствор концентрированный. Вещество это имеет вполне определенный спектр с характерным для него отсутствием полосы I в красной части, которая до сих пор считалась как признак особенно устойчивый во всех производных хлорофилла. Вторая замечательная особенность этого спектра — это широкая полоса, занимающая место II полосы, включая и два промежутка между I-й и II-й полосой и между II-й и III-й. Далее мы увидим, какой интерес представляет положение этой полосы.

Но самая существенная особенность этого вещества — его свойство при соприкосновении с воздухом быстро окисляться и при этом зеленеть. Таким образом, следовательно, это вещество превращается в хлорофилл. Очевидно, что аналогичное этому телу вещество должно существовать в растениях, так как, только окисляясь на счёт кислорода воздуха, этиолиро-

ванные растения начинают зеленеть, вещество это сильно поглощает кислород воздуха. Появление первой полосы, представляющее собою первый признак окисления, обнаруживается, так сказать, моментально даже в атмосфере, содержащей только следы этого газа, так что можно употреблять эти растворы в качестве одного из наиболее чувствительных реактивов для обнаруживания ничтожных следов кислорода.

Это вещество является, очевидно, продуктом восстановления зеленого начала хлорофилла, которое мною было описано в 1869 г. под названием хлорофиллина; новое полученное вещество может быть названо пока протохлорофиллином, или более кратко — протофиллином.

Растворы протофиллина могут сохраняться только в запаянных трубках. Если же их ввести в трубочки, опрокинутые над ртутью, они тотчас позеленеют. Очевидно, что здесь мы имеем дело с энергичным восстановителем, действием которого можно объяснить разложение углекислоты зелеными частями растения. *Действительно, эти растворы, заключенные в запаянные трубки и содержащие угольную кислоту, быстро зеленеют на солнечном свете, превращаясь в хлорофилл,* тогда как контрольные трубочки, сохраняемые в темноте, неизменно сохраняют свой цвет и свой характерный спектр. В то же время трубочки с растворами, совершенно сходные с предшествующими, но содержащие водород, не изменяют оптических свойств ни на свету ни в темноте. Можно ли из этого сделать вывод, что это образование хлорофилла, это окисление, происходит за счет углекислоты? Можно ли, наконец, считать осуществленной задачу разложения углекислоты от действия света при помощи хлорофилла, но вне живого организма? Я не решаюсь еще это утверждать до тех пор, пока у меня нет данных относительно состава остающегося газа, но, с другой стороны, трудно было бы найти иное объяснение изложенных фактов. Во всяком случае в этих опытах мы в первый раз получаем образование раствора хлорофилла на свету вместо его разрушения; эта

именно особенность недавно приписывалась Жоденом,[1] как исключительная особенность живого организма. Естественно является вопрос, можно ли быть уверенным, что это вещество находится и в живом организме. Если принимать в соображение только его спектр, в таком случае кажется, именно присутствию этого вещества надо приписать разницу между спектром зеленой хлорофилловой вытяжки, только что полученной из листьев, и спектром хлорофилла, измененного медленным окислением.

Действительно, это превращение главным образом характеризуется исчезновением полосы поглощения в двух промежутках I и II полосой и между II и III. Эту особенность можно было бы себе объяснить, допустив разрушение протофиллина (благодаря окислению), широкая полоса поглощения которого заполняет, как мы только что видели, именно этот промежуток. Тем не менее я готов скорее заключить, что мы здесь имеем соединение двух тел, а не простое наложение спектра.

К тому же протофиллин не единственное вещество, которое образуется в описанных условиях: если реакция продолжается дольше, особенно в присутствии избытка кислоты или при действии минеральных кислот, появляется новое вещество, характеризующееся также определенным спектром. При этом в конечном результате получается полное обесцвечивание и разрушение красящего вещества. Только останавливаясь на первой стадии восстановления, возможно при помощи последующего окисления достигнуть более или менее полного возврата к первоначальному продукту — хлорофиллу. По мере того, как реакция продолжается, количество полученного вновь хлорофилла значительно убывает, что как будто указывает на частичное разрушение красящего вещества, вследствие слишком

[1] Jodin. Etudes sur la chlorophylle (Comptes Rendus, T. 5, p. 266, 1886). Доказательство восстановляющего действия света на хлорофилл вне организма составляет, как мне кажется, несомненную заслугу Реньяра.

энергичного и продолжительного действия восстановителя. Вот причина, которая делает эти превращения столь сложными: все операции надо производить в атмосфере вполне лишенной кислорода, и они все время должны проверяться спектроскопом.

Что бы ни было, очевидно, что изучение этого любопытного вещества и его отношения к углекислоте и свету, так же как исследования его присутствия в живом организме как в нормальном состоянии, так и в этиолированном, выяснит химическую сторону функции хлорофилла, которая изучалась последнее время исключительно с физической точки зрения.

Указав на путь исследования этих новых производных хлорофилла, я предполагаю вести это исследование в означенном направлении.

ПРОТОФИЛЛИН В ЖИВОМ РАСТЕНИИ

(ПРОТОФИЛЛИН В ЭТИОЛИРОВАННЫХ РАСТЕНИЯХ)

Comptes Rendus Acad. Sc. Paris, T. 188, p. 414—416

(*перевод с французского*)

В моем первом сообщении [1] об этом вопросе я указал на существование производной хлорофилла, получаемой при восстановлении и способной вновь регенерироваться в хлорофилл, окисляясь на воздухе. Оптические свойства этого тела дали мне возможность предположить: 1) что оно происходит из хлорофиллина, зеленого начала хлорофилла, который я выделил в 1869 г., 2) что оно должно находиться в этиолированных растениях и давать начало хлорофиллину при помощи аналогичного явления окисления. [2] Новые опыты, сделанные в апреле 1888 г., подтвердили мое предположение относительно этих двух пунктов.

I. Отправляясь от хлорофиллина (т. е. хлорофилла, лишенного ксантофилла), мы получаем раствор протофиллина фиолетового цвета, что, впрочем, и ранее можно было предвидеть на основании положения полос поглощения в желтой и зеленой части спектра. Эти характерные полосы протофиллина соот-

---

[1] Comptes Rendus, 1886.

[2] Дементьевым был установлен факт,что появление хлорофилла в этиолированных растениях есть явление окисления.

ветствуют II и IV полосам хлорофилла. Окисление сказывается почти моментальным ослаблением полос II и IV и одновременным появлением полос I и III хлорофилла.

II. Чтобы доказать присутствие этого протофиллина в живом организме я поступил таким образом: ввиду того, что абсолютное количество протофиллина очень не велико, и его красящая способность гораздо слабее хлорофилла, надо было брать жидкость в очень толстом слое,[1] для того, чтобы обнаружить это вещество при помощи спектроскопа.

Я брал для этого трубку длиною 0.5 м, закрывающуюся с обоих концов стеклянными пластинками. Семенодоли этиолированных растений растирались в маленькой ступке, содержащей алкоголь в количестве, достаточном для наполнения только что описанной трубки, при условии быстрого фильтрования. Первые опыты, хотя и подавали надежды, но были мало удовлетворительны. В спектре получались все абсорбционные полосы хлорофилла, но II полоса была все-таки более резко выражена, чем обыкновенно: она была такая же, даже более резкая, чем I. Ясно было, что присутствие I полосы указывало на начало окисления.

Только увеличивая необходимые предосторожности, чтобы сохранять ростки в абсолютной темноте, мне, наконец, удалось извлечь из этиолированных ростков растворы, обладающие чистым спектром протофиллина без малейшего следа I полосы, столь характерной для хлорофилла. Не представляло более сомнений, что протофиллин, окисляясь на свету, дает начало хлорофиллину в живом организме.[2]

---

[1] Возможность пользоваться концентрированным раствором была исключена вследствие быстрого окисления протофиллина.

[2] Хвойные, как и можно было ожидать, представляют исключение: они зеленеют, хотя бы содержались в полной темноте. Не следует ли это приписать присутствию скипидара, способствующего окислению протофиллина без содействия света.

Я не хотел бы упустить случая исправить две ошибки, вкравшиеся в критические заметки, направленные против моего первого сообщения. Мне приписывали утверждение, что я получил разложение углекислоты при помощи протофиллина, тогда как со всеми предосторожностями я высказал это только как предположение. Во всяком случае, факт остается установленным, что раствор протофиллина сохраняется неопределенное время в атмосфере углекислоты в темноте и зеленеет, превращаясь в хлорофилл, как только мы его выставим на солнце.

Наиболее вероятно предположение, что окисление происходит за счет углекислоты, но оно не исключает возможности того, что следы кислорода, от которых так трудно освободить углекислоту и которые не оказывают окисляющего действия даже после долгого пребывания в темноте на протофиллин, столь жадно соединяющийся с кислородом, оказываются достаточными, чтобы вызвать это явление при содействии света.

Прингсгейм высказал мнение, что мои исследования спектра протофиллина вполне расходятся с результатами моих предшествующих исследований, которыми установлена связь между спектром хлорофилла и разложением углекислоты. Однако легко показать, что берлинский морфолог заблуждался. Разложение углекислоты происходит в зеленых частях растения при помощи хлорофилла. Очевидно, что лучам, поглощаемым этим веществом, которое уже существует при начале реакции, должно быть приписано фотохимическое действие, а не лучам, поглощаемым веществом (протофиллином), которое первоначально отсутствует и может образоваться в данном случае только как следствие восстанавливающего действие света на хлорофилл. Спектр протофиллина можно привлечь сюда только в том случае, если говорить об отношении самого протофиллина к фотохимическим реакциям, а это, повидимому, и имеет место. Характерная полоса протофиллина (полоса II) находится в

оранжевой части спектра, и именно эти лучи оказываются наиболее деятельными, как это было показано недавно Рейнке в процессе зеленения этиолированных растений.

Итак, мои исследования не опровергают закона Гершеля, который лежит в основе всех наших фотохимических представлений; мои исследования спектра протофиллина дают ему еще новое применение в растительной физиологии. Процесс зеленения зависит от лучей, поглощенных протофиллином этиолированных растений, так же как разложение углекислоты зависит от лучей, поглощенных хлорофиллом зеленых растений.

КОСМИЧЕСКАЯ РОЛЬ РАСТЕНИЯ

Крунианская лекция (Croonian lecture),[1] *читанная в Лондонском Королевском Обществе 30 (17) апреля 1903 года*

«Научное Слово», 3, 1904, стр. 31—77

I

Когда Гулливер в первый раз осматривал академию в Лагадо, ему прежде всего бросился в глаза человек *сухопарого вида*, сидевший уставив глаза на огурец, запаянный в стеклянном сосуде.

На вопрос Гулливера диковинный человек пояснил ему, что вот уже восемь лет, как он погружен в созерцание этого предмета в надежде разрешить задачу улавливания солнечных лучей и их дальнейшего применения.

Для первого знакомства я должен откровенно признаться, что перед вами именно такой чудак. Более тридцати пяти лет провел я, уставившись если не на зеленый огурец, закупоренный в стеклянную посудину, то на нечто вполне равнозначащее — на зеленый лист в стеклянной трубке, ломая себе голову над разрешением вопроса о запасании *впрок* солнечных лучей. Если я решаюсь выступить перед этим знаменитым обществом

---

[1] Эта лекция, основанная на капитал, завещанный доктором Круном, современником Галилея и одним из первых членов общества, читается ежегодно почти в течение двух веков, для чего приглашаются выдающиеся английские или континентальные ученые: стоит только упомянуть имена Гёксли, Вирхова и Гельмгольца.

с кратким отчетом о скромных результатах моего многолетнего труда, то лишь в надежде, что предмет этот имеет хотя и очень отдаленное, но тем не менее несомненное отношение к тому вопросу, который доктор Крун, просвещенный и щедрый основатель этой лекции, считал наиболее уместной для нее темой. В течение длинного ряда лет содержанием для этих лекций служил вопрос *о мышечном движении,* позднее зашла речь *о движениях животных и растений* и, наконец, *о происхождении жизненных движений* вообще.

Быть может, мне дозволено будет сделать еще шаг в этом направлении, в сущности последний возможный шаг, и повести речь об энергии, затрачиваемой во всех этих движениях, о ее отдаленнейшем источнике — о солнечном луче, слагающемся в запас в зеленом листе.

Я полагаю, излишне напоминать вам, что вопрос этот был предметом многочисленных исследований в этой стране (и в Америке) в течение более чем столетия. Достаточно напомнить всем знакомые имена: Пристли, графа Румфорда, Добени, сэра Девида Брюстера, Джона Вильяма Дрепера, сэра Джона Гершеля, Роберта Гёнта, сэра Джорджа Стокса, Эдварда Шунка, Сорби, сэра Уильяма Абнея, Блякмана и last not least —[1] Гораса Брауна, чтобы показать, какой глубокий интерес возбуждал этот вопрос с самых разнообразных точек зрения. Я мог бы прибавить, что чтение блестящей книги Тиндаля «Теплота как движение» и, в результате этого чтения, знакомство с классическим произведением Роберта Майера *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel* послужили толчком для всей моей последующей работы. И должно сознаться, что момент был для того исключительно благоприятный: Бунзен и Кирхгоф недавно открыли это могучее орудие исследования — спектральный анализ; сэр Джордж Стокс применил его к изучению химических превращений крови; Дезен и Тиндаль разработали

[1] Последний, но не из последних.

термоскопический метод Меллони; Сент-Клер-Девиль сделал свое великое открытие диссоциации углекислоты; Бунзен и Дойер, упростив методы газового анализа, сделали их легко доступными для физиолога и, наконец, Буссенго только что опубликовал свои классические исследования над ассимиляцией углерода, в которых показал, что этот процесс может быть легко изучаем на отдельных листьях или даже кусочках листьев.

С первого же шага, на первой странице моей первой русской работы, в 1868 году, я определил намеченную задачу во всей ее широте в следующих выражениях:

«Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, проследить их участь в растении до их уничтожения, т. е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой — вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к осуществлению которой должны быть направлены все силы ботаников».

Я могу только добавить, что скромные результаты, полученные после длинного ряда лет, только подтверждают, что я во всяком случае не преувеличивал трудностей задачи.

Когда я приступил к своей задаче, ходячее представление об этом фотохимическом процессе, совершающемся в зеленом листе, сводилось к убеждению, что действие различных лучей света должно быть в зависимости от их относительной *яркости*. Это убеждение основывалось главным образом на классических исследованиях Дрепера, произведенных им в солнечном спектре. С теоретической точки зрения мне представлялось крайне невероятным, чтобы такой по существу *эндотермический* и, следовательно, зависящий от энергии действующих лучей химический процесс мог находиться в каком-нибудь отношении с чисто-физиологическим свойством лучей, не имеющим, помимо органа зрения, никакого объективного существования. Света, понимаемого в тесном смысле этого слова, не существует для

растения. Но факты, предъявляемые таким авторитетом в этой области исследования, каким был Дрепер, не могли быть устранены на одном основании их малой теоретической вероятности. Изучение классического мемуара Меллони о перемещении максимума теплового эффекта в зависимости от чистоты спектра навело меня на след экспериментальной ошибки в исследовании Дрепера. Его спектр был крайне нечист. Он получал его при помощи отверстия в $^3/_4$ дюйма в диаметре (Волластоновская узкая щель, повидимому, еще не вошла в то время в общее употребление). Таким образом, было найдено удовлетворительное объяснение для совпадения максимума химического процесса с максимумом *яркости* лучей в желто-зеленой части спектра. В нечистом спектре, полученном при помощи широкой щели, эта часть — фактически почти белая, слегка окрашенная в эти цвета, и, следовательно, действует суммой всех лучей спектра. Только края такого спектра действительно монохроматичны.

Второй шаг заключался в том, чтобы доказать, что такое совпадение двух maxima — яркости и химического действия — фактически не существует.

Сравнения этих трех кривых (рис. 1 — кривой ассимиляции углерода, яркости и энергии в солнечном спектре), заимствованных из моей первой (и последней) немецкой работы, достаточно для того, чтобы убедить в отсутствии какой-либо связи между химическим действием и Фрауенгоферовою кривой яркости света. В то же время в пределах видимого спектра усматривается несомненное соотношение с кривою распределения энергии.

В этой первой, предварительной работе я остановился на более простом и удобном приеме цветных жидких экранов (теперь сказали бы: светофильтров), введенных в употребление Сенебье и усовершенствованных Добени. Я применил только более точное вычисление результатов и графическое их выражение. В то же время я в первый раз применил прием анализа газов, теперь вошедший во всеобщее употребление, но совершен-

но ложно приписываемый Пфефферу, хотя, по его собственному сознанию, он его у меня заимствовал.

Но если этих аргументов и фактических результатов было вполне достаточно, чтобы раз навсегда покончить с ходячими

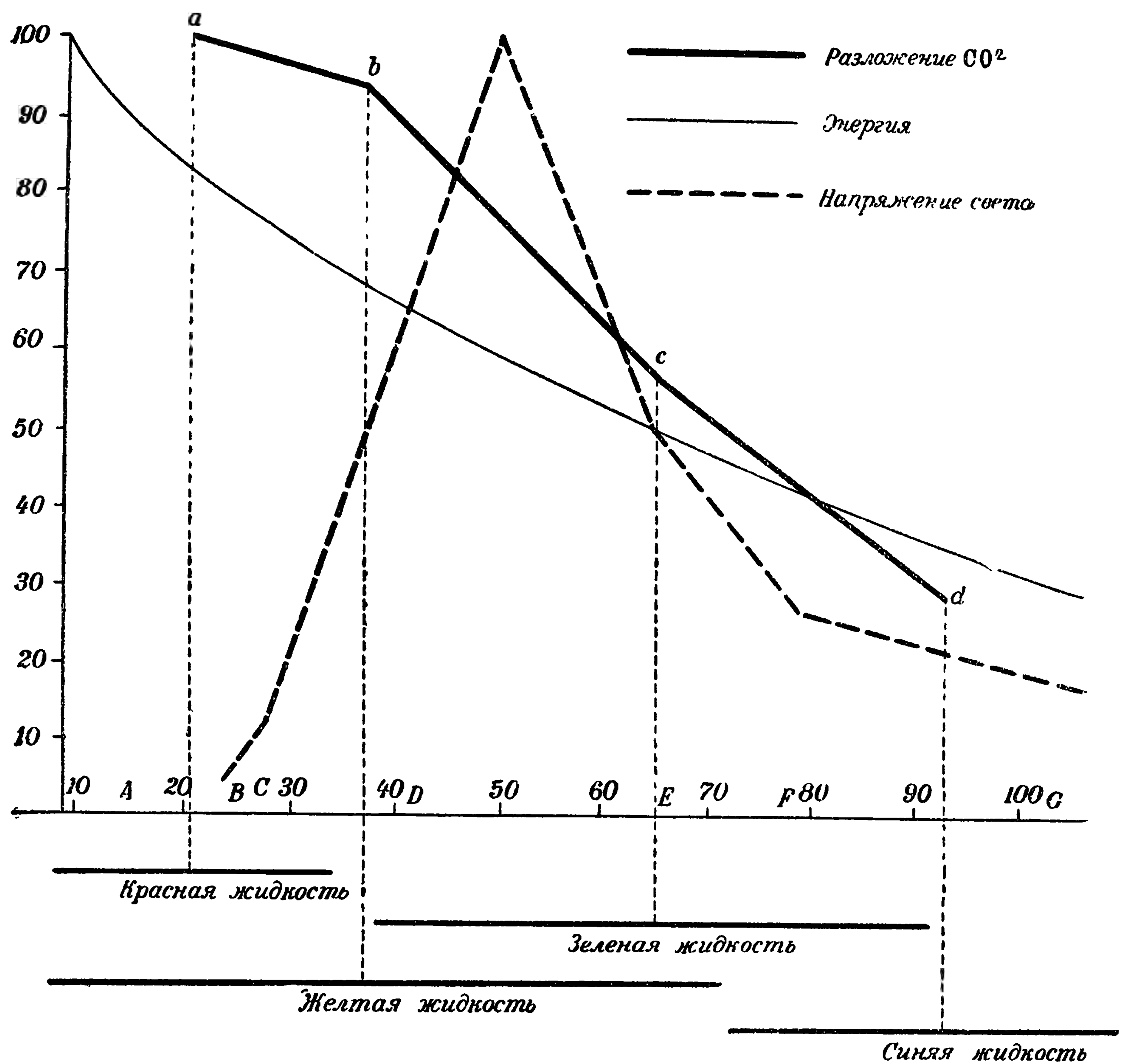


Рис. 1.

идеями о зависимости разложения углекислоты от относительной *яркости* различных лучей спектра, так как она опиралась исключительно на опыты Дрепера, то в свою очередь их не было достаточно для построения какой-нибудь новой теории. Нельзя

было, например, без дальнейших разъяснений допустить, что разложение углекислоты зависит просто от относительной энергии луча. Максимум энергии лежит, как известно, в инфра-красной части призматического спектра, а замечательные опыты Кальте (почему-то почти всегда опускаемые в многочисленных исторических очерках нашего вопроса) несомненно доказали, что темные тепловые лучи, профильтрованные через известный Тиндалевский раствор иода в сероуглероде, не могут вызывать разложения угольного ангидрида в зеленом листе.

Нужно было привлечь к объяснению явления какой-нибудь новый физический принцип, который одновременно давал бы объяснение и для распределения явления в видимом спектре и для его отсутствия за красным пределом спектра.

Принцип, к которому обратились, был так называемый закон сэра Джона Гершеля, гласивший, что фотохимическое действие может быть вызвано только лучами, поглощаемыми изменяющимся телом и потому, как общее правило, представляющими комплементарный ему цвет. [1] Предполагалось, что в применении к настоящему случаю закон Гершеля значил, что разложение угольного ангидрида должно происходить на счет тех лучей спектра, которые поглощаются зеленым веществом листа, что эти лучи должны соответствовать абсорбционным полосам в спектре хлорофилла.

Обыкновенно приписывают Ломмелю мысль, что разложение угольного ангидрида должно быть рассматриваемо как функция относительной энергии данного луча и степени его поглощения хлорофиллом. Но это мнение, несмотря на его распространенность, вполне ложно. Ломмель сам признает, что первая половина предложения, касающаяся зависимости разложения от энергии, была высказана мною: «Тимирязев высказал половину истины». Я могу прибавить: не только «высказал», но и доказал экспериментально. А если я не мог высказать второй поло-

[1] Закон этот еще ранее был высказан Гротгусом, в Митаве.

вины, т. е. касательно зависимости от поглощения, то по той простой причине, что она уже была высказана до меня, а, следовательно, тем более до Ломмеля — Жаменом и Эдмондом Бекерелем, и можно только удивляться, что Ломмель — физик не был знаком с известным учебником физики Жамена и не менее известной книгой Бекереля «La Lumière, ses causes et ses effets».

Но, конечно, главное дело не в том, чтобы высказать мысль, хотя бы и вполне верную, а в том, чтобы подтвердить ее на опыте. *Nullius in verba* [1] теперь, как и столетия тому назад, должно быть руководящим правилом всякого исследователя. Другими словами, нужно было повторить знаменитый опыт Дрепера, избежав его ошибки, а в этом и заключалось главное затруднение. Обыкновенно принято также считать, что это было осуществлено в первый раз моим старым другом, профессором Н. К. Мюллером. Но, к сожалению, и на этот раз я не могу подтвердить ходячего мнения. Дело в том, что Мюллер не доставил этого прямого доказательства о связи между поглощением света листом и совершающимся в нем химическим процессом, да и не мог сделать этого, так как не располагал единственным средством избежать ошибки Дрепера. В своей первой работе, появившейся ранее моей, он экспериментировал в довольно чистом спектре, но тогда напряжение света не было достаточно велико, и он *не получил разложения угольного ангидрида*, а заключал о нем лишь на основании различия в интенсивности обратного процесса дыхания (т. е. *образования углекислоты*). Во второй работе, появившейся уже после моего исследования, он мог прямо констатировать разложение углекислоты, но только ценою чистоты своего спектра — ширина его щели была почти та же, что и у Дрепера, и результат был почти тот же, т. е. главный максимум разложения оказался в желтых лучах.

[1] Девиз королевского общества, имеющий смысл, что не следует в науке опираться на слова.

Если я позволю себе останавливаться подробнее на этом вопросе, то не из тщеславного желания установить свой приоритет, но на основании твердого убеждения, что избранный мною путь остается и теперь, как был тогда, единственным средством избежать ошибки Дрепера. Мюллер не придумал никакого средства избежать, а следовательно, и не мог избегнуть этой ошибки. Дилемма, так ясно обнаруживаемая двойной неудачей Мюллера, заключалась в следующем: если спектр чист, напряжение света недостаточно для обнаружения разложения угольного ангидрида; если, наоборот, мы широко раскроем щель и увеличим напряжение света в спектре, мы можем быть вперед уверены, что получим максимальное действие в средине спектра, в его желто-зеленой части. Существовало только одно средство избежать обоих рогов этой дилеммы — увеличить интенсивность чистого спектра, уменьшив его размеры, но тогда и листовые поверхности, выставляемые в спектре, были бы соответственно уменьшены, а следовательно, и количества газов, с которыми пришлось бы оперировать, были бы слишком малы для их измерения при помощи тех газометрических приемов, которые химия того времени могла предложить к услугам ботаника.

Главная задача, следовательно, сводилась к тому, чтобы, так сказать, изменить масштаб газометрических измерений, не поступившись точностью методы и удобствами операций. Хотя я с той поры не раз менял подробности устройства приборов, основание придуманной мною методы газового анализа осталось то же самое. Листья вводятся в цилиндрические трубки потребного диаметра, а еще лучше — в плоские трубки [1] (чем достигается увеличение поверхности листа), а газы измеряются и анализируются в трубках наименьшего возможного диаметра.

Все необходимые манипуляции — переливание газов и их обработка реактивами — достигаются при помощи предложенной мною в 1871 году газовой пипеты, которую я до сих пор

[1] Я их употребляю с 1870 года.

считаю наиболее удобной (рис. 2). Она представляет прочное сочетание пипеты и ртутной ванны, благодаря чему восходящему концу сифонопипеты можно сообщить такой малый наружный (не свыше $1\frac{1}{2}$ миллиметра) диаметр, что он может проникать в измерительные трубки в 2 миллиметра внутреннего диаметра. Достоинство этого приема заключается и в том, что газы не встречают на пути ни крана, ни каучуковой трубки.

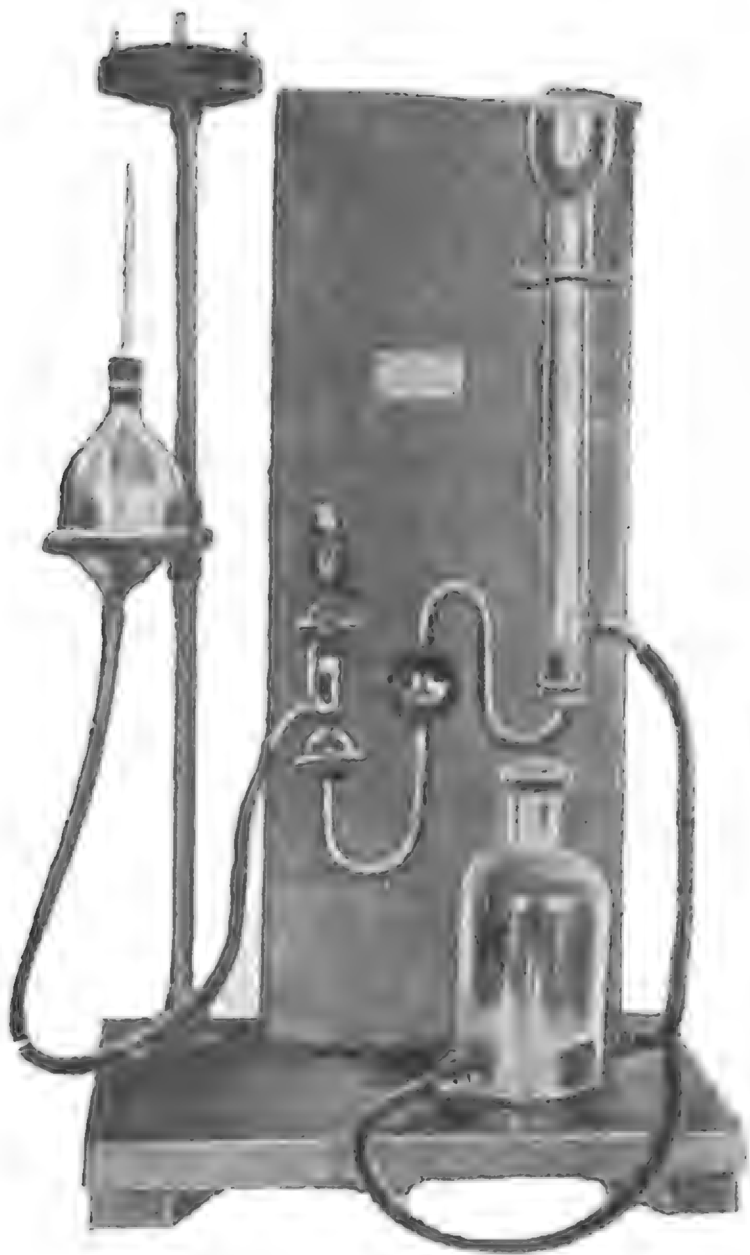


Рис. 2.

Все необходимые операции сводятся вкратце к следующему: благодаря видоизмененной мною форме Бунзеновского газометра приготовляемая в нем смесь воздуха и углекислоты, проходя чрез еще особую пипетку, так сказать, режется на ломти потребного объема и распределяется по плоским трубкам с листьями. После достаточной экспозиции в спектре газы отбираются при помощи выше описанной пипеты и приводятся для анализа в упомянутые измерительные трубки, дозволяющие измерение с точностью до $^1/_{1000}$ кубического сантиметра.

Благодаря этим приспособлениям задача получения *достоверных* аналитических данных с зелеными поверхностями, подвергнутыми действию *чистого* спектра, была в первый раз разрешена, и я считаю до сих пор этот метод единственным заслуживающим полного доверия.

Действительно, два другие приема, которые применялись для разрешения этой задачи, несравненно менее точны. Счет

пузырьков газа, выделяемых при этих условиях водяными растениями (что можно очень красиво демонстрировать в проложении при помощи волшебного фонаря), [1] хотя бы измеряли их диаметр, как это делал в последнее время Коль, не может быть предложен как сколько-нибудь точный способ. Правда, мы можем получить значительно более надежные результаты, воспользовавшись моим *микроэвдиометром* — маленьким аппаратом, позволяющим в несколько минут собрать и подвергнуть анализу пузырек газа не более булавочной головки, но и в этом случае источники погрешности, проистекающие от водяной среды, в которой производится опыт, хотя и сведенные на minimum, все же не могут быть вполне устранены.

Что касается до третьего приема, до пресловутого определения кислорода при помощи бактерий, предложенного Энгельманом, то я продолжаю придерживаться того мнения, что этот прием слишком окольного свойства, и остаюсь при убеждении, что химические вопросы должны разрешаться химическими методами. К тому же мы вскоре будем иметь случай наглядно убедиться, как мало можно полагаться на этот прием исследования.

Таким образом, мы видим, что только выработка газометрического метода, дозволяющего измерение и анализ очень малых количеств газа, дала возможность изучить процесс разложения углекислоты в чистом спектре.

Но было еще два предварительных вопроса, которые необходимо было разрешить, прежде чем приступить к изучению этого основного вопроса о связи между фотохимическим процессом и поглощением света в зеленом листе. Нужно было изучить спектры поглощения хлорофилла и его ближайших составных начал точнее, чем это было сделано до тех пор. Не стану приводить здесь результатов моего, напечатанного в 1871 году, на русском языке исследования, в котором я пытался в первый

---

[1] Этот прием демонстрации, описанный мною лет двадцать тому назад, года два тому назад Пфеффер приписал себе.

раз классифицировать эти тела на основании их спектроскопических признаков,— скажу только, что позднейшие исследования, в особенности Гартлея, Шунка и Мархлевского, их подтвердили в основных чертах. Остановлюсь только на способе изображения спектров, который я тогда в первый раз ввел и до самого последнего времени старался усовершенствовать. До тех пор абсорбционные спектры изображались как бы состоящими из *отдельных* темных полос, чередующихся со световыми

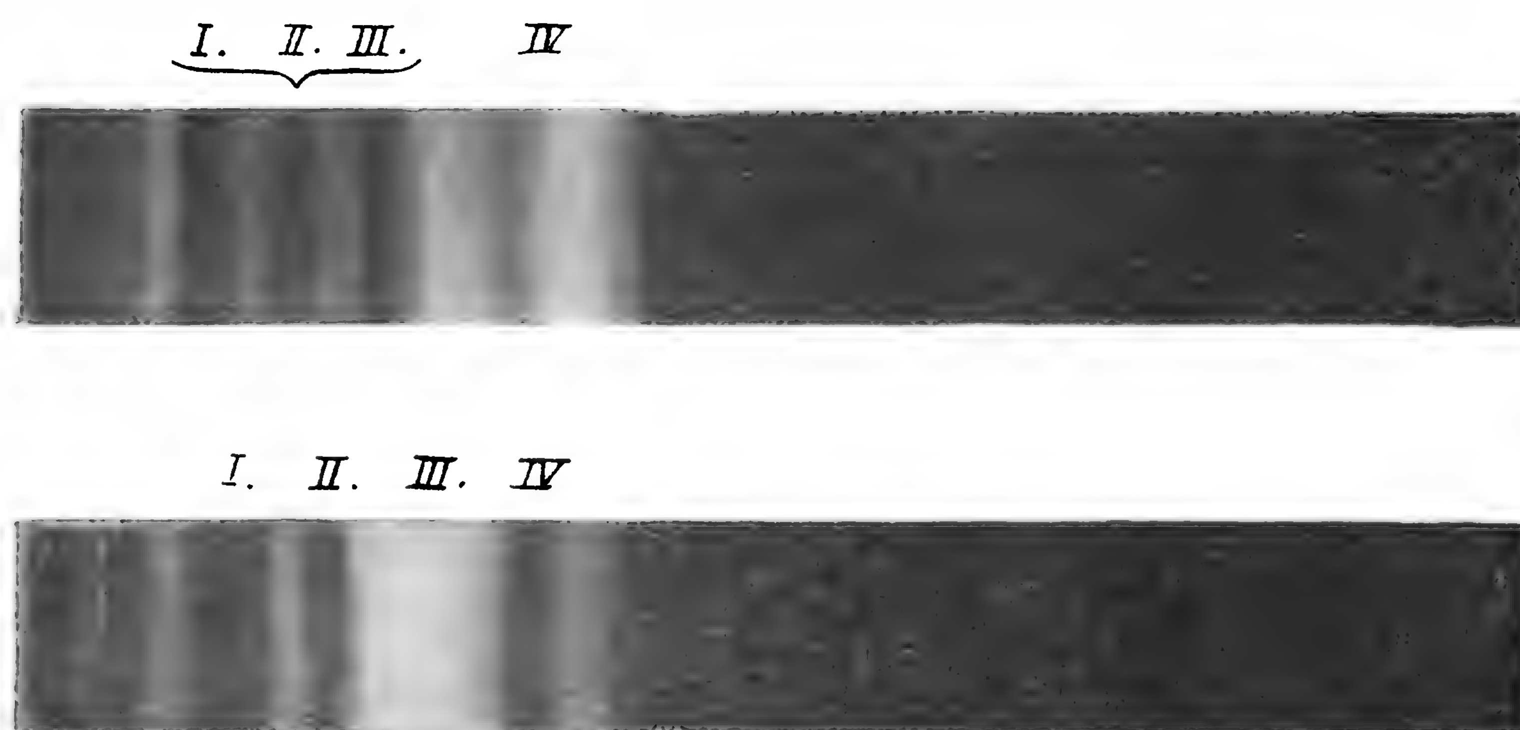


Рис. 2.

промежутками, что, конечно, соответствовало только известным, совершенно произвольно выхваченным, концентрациям или толщинам слоя. Сопоставляя целый ряд спектров, соответствующих различным толщинам слоя, я получил *спектрограммы*, вполне характеризующие вещество (рис. 6). Для этих наблюдений я предложил в различное время несколько аппаратов. Позднее я отказался от этого хлопотливого, последовательного зарисовывания спектров, все же оставляющего простор для субъективных ошибок, и заменил его непосредственным наглядным наблюдением этих спектрограмм в *клиновидных* сосудах (способ, если не ошибаюсь, в первый раз примененный покойным профессором Гладстоном), и, наконец, мне удалось

осуществить самый удобный и вполне объективный прием исследования спектров в форме этих *фотоспектрограмм.*

Первые фотографии хлорофиллового спектра я получил еще в 1892 году на обыкновенных Ильфордовских пластинках (рис. 3),[1] при продолжительной экспозиции (в несколько минут), с желтым светофильтром, но теперь предпочитаю замечательные по своей ортохроматичности и отсутствию полос поглощения пластинки Кадета—*Spectrum.* Наиболее удобная форма клиновидного прибора, которую я окончательно выработал, — та, которая изображена здесь (рис. 4, 5). Кубический сосуд, разделенный диагональной перегородкой на два призматические отделения, наполняется с одной стороны раствором, с другой — растворителем. Щель может вращаться так, что по желанию можно фотографировать или спектр любой концентрации или полную спектрограмму. В последнем случае удобнее давать щели *горизонтальное* положение, так как при этом условии легко приготовить раствор желаемой концентрации и можно воспользоваться подвижной спинкой (swing back) камеры для наведения всех частей спектра на фокус. В этих фотоспектрограммах мы, конечно, имеем наилучшее средство изображения спектров, но, как мы увидим далее, в некоторых случаях мне приходилось прибегать к еще другому приему — *спектрофотометрическому.*


Рис. 4.

[1] И превосходных пластинках, изготовлявшихся в то время нашим известным фотографом *А. Эйхенвальдом.*

Возвращаясь к нашей основной задаче, мы видим, как существенно важно было знать действительную форму абсорбционной кривой. Так как все до той поры изображаемые спектры были прерывчатые (т. е. состояли из темных и светлых полос), то трудно было себе объяснить, почему (как в опытах Дрепера) химическое действие распределялось в спектре непрерывно. [1]

Только вооружившись этими газометрическими и спектроскопическими приемами, я мог, наконец, повторить классический опыт Дрепера, не опасаясь впасть в его ошибку. В результате моего исследования явилось полное подтверждение применимости закона Гершеля к нашему случаю. Не только оба максимума вполне совпадают, но и кривая разложения вполне воспроизводит кривую поглощения света, по крайней мере, в наименее преломляющейся части спектра (рис. 6, верх). Можно заметить, что вторичные абсорбционные maxima, повидимому, не отражаются на химическом процессе, но еще подлежит сомнению (особенно после последних исследований Шунка и Мархлевского), принадлежат ли эти линии главному составному началу хлорофилла или какому-нибудь из его продуктов разложения.

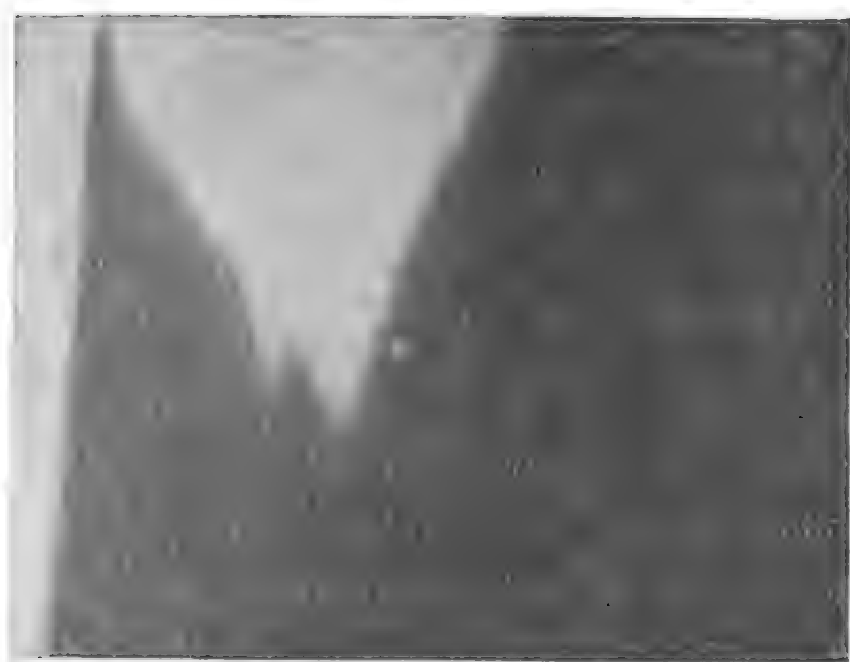
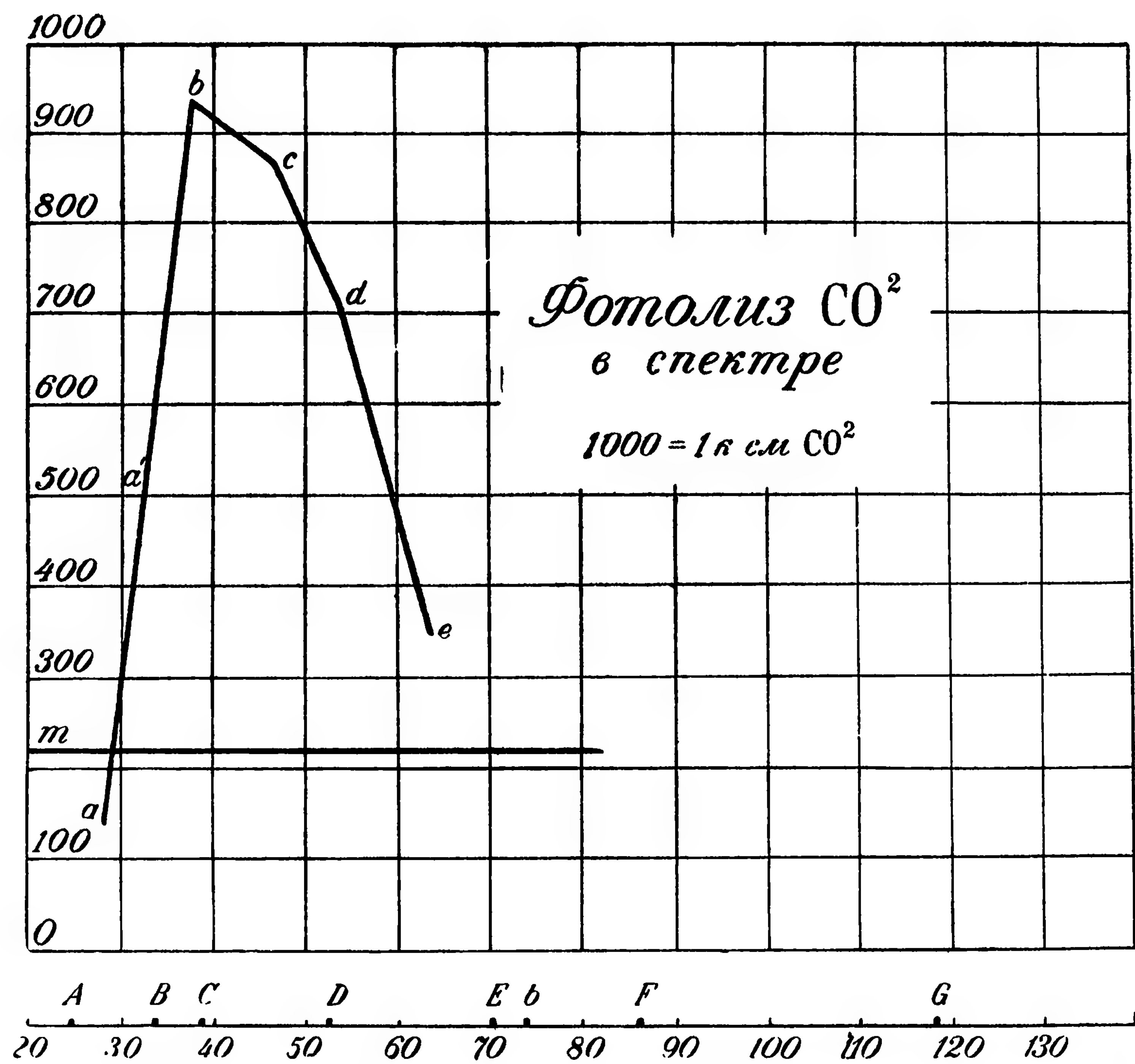


Рис. 5.

Тот же самый результат, как в только что изложенном опыте, я получил позднее и при помощи совершенно иного метода. Разложение угольного ангидрида, изображенное на чертеже

---

[1] Ломмель на основании такого недостаточного знакомства со спектром и высказывал мнение, что химическое действие в спектре должно быть прерывчатое.


Фотолиз CO²
в спектре
1000 = 1 к см CO²
1000
900
800
700
600
500
400
300
m
100
0
a
a'
b
c
d
e
A
B
C
D
E
b
F
G
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

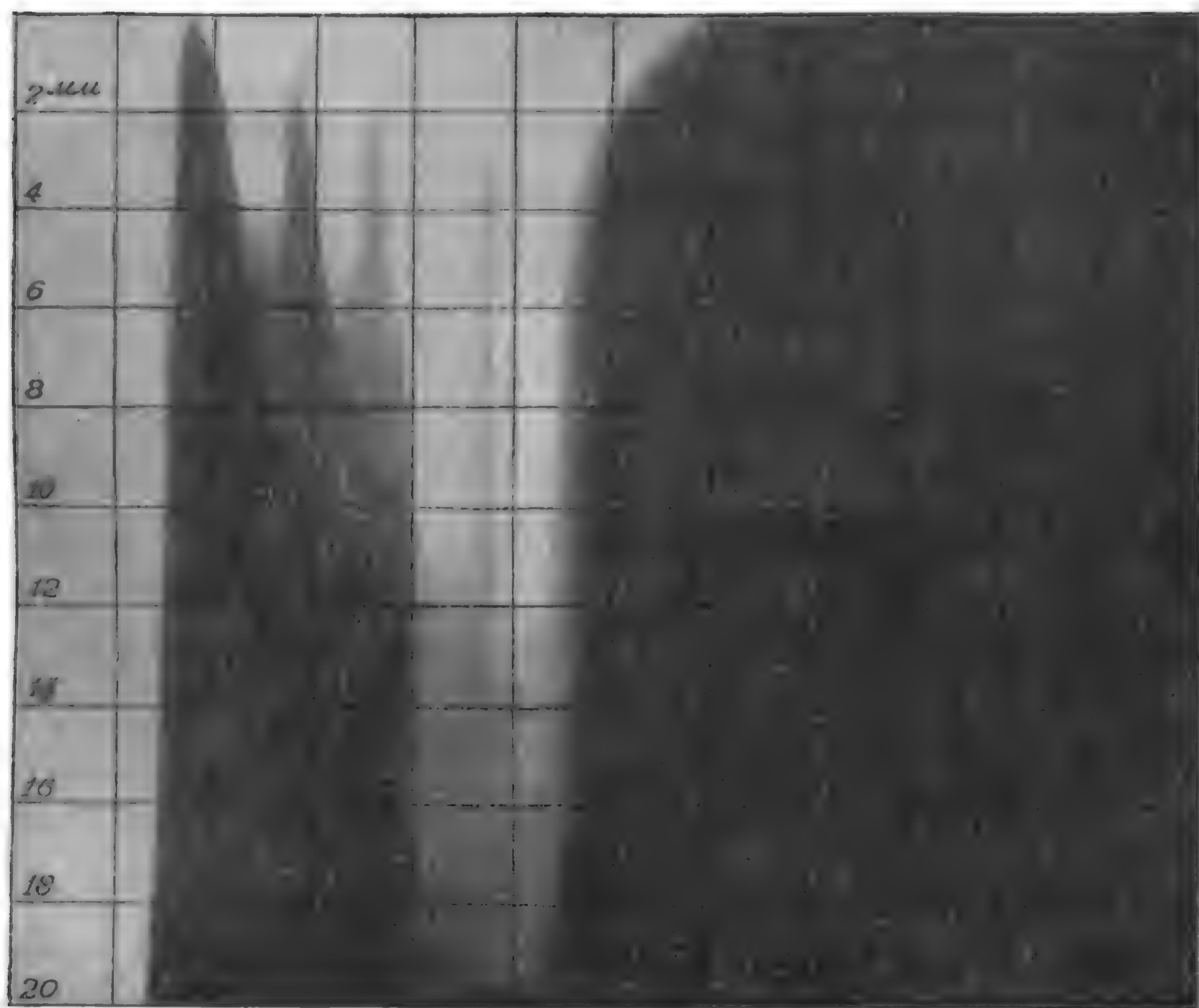

2 мм
4
6
8
10
12
14
16
18
20

Рис. 6.

(рис. 6, верх), *фотолиз,* как правильнее всего называть этот процесс, представляет начальную и, конечно, самую важную часть этого процесса, так как именно он зависит от действия внешнего источника энергии. За ней весьма быстро следует процесс *фотосинтеза,* т. е. образования органического вещества. Хотя, благодаря блестящим исследованиям Брауна и Мориса, мы теперь знаем, что крахмал не представляется не только исключительным, но, может быть, даже и главным *ближайшим* продуктом этого синтеза, тем не менее — это продукт, появляющийся уже через несколько минут после первого проявления разложения углекислоты, а главное — это продукт, присутствие которого может быть легко обнаружено при помощи реакции с иодом.

Если разложение угольного ангидрида должно быть рассматриваемо как функция тех светлых волн, которые соответствуют полосам поглощения хлорофилла, а с другой стороны, образование крахмала — как следующая стадия того же фотохимического процесса, то естественно предположить, что образование крахмала в спектре будет строго локализовано, будет также ограничиваться местами, соответствующими абсорбционным полосам хлорофилла. Другими словами, должно ожидать, что если спектр достаточной интенсивности будет отброшен на живой лист, предварительно лишенный крахмала, то он отпечатает в этом листе невидимое изображение — спектр хлорофилла, образованный микроскопическими зернами крахмала. Это скрытое изображение может быть затем проявлено при помощи реакции с иодом.

Это мое предположение было вполне подтверждено следующим опытом. Здоровые и находящиеся в связи с растением листья гортензии, предварительно лишенные крахмала, после 5—6-часовой экспозиции в очень интенсивном и чистом спектре были подвергнуты известной иодной пробе на крахмал. Они представили вполне отчетливый спектр хлорофилла с резко обозначенной главной полосой поглощения между Фрауен-

гоферовыми линиями *B* и *C* и постепенно стушевывающимся действием в сторону синей части спектра (рис. 7). Второстепенных полос, как и при изучении разложения углекислоты, нельзя было обнаружить.

Синие и фиолетовые лучи не оказали почти никакого действия. Этот последний результат, вероятно, следует приписать тому обстоятельству, что появление крахмала является только результатом двух противоположных процессов — образования крахмала и его растворения, так что, начиная с известного напряжения света, когда ассимиляция углерода недостаточно энергична, первый процесс уравновешивается вторым, и в листе не отлагается избыточного крахмала.

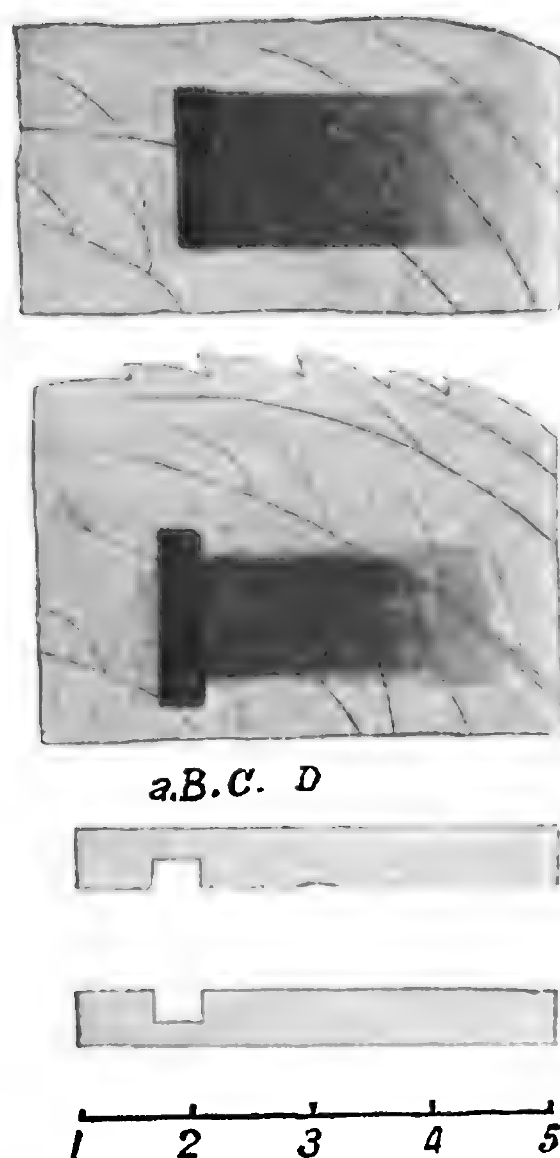


Рис. 7.

Эти факты естественно приводят нас к рассмотрению вопроса об относительном влиянии на рассматриваемый нами процесс лучей наиболее преломляющейся части спектра. Можно было заметить (рис. 6), что до этой поры мои исследования ограничивались его наименее преломляющейся половиной.

Относительно второй половины спектра господствовало убеждение, что входящие в ее состав лучи играют сравнительно ничтожную роль в нашем фотохимическом процессе. Мнение это основывалось на том же классическом опыте Дрепера и на многочисленных опытах с желтыми и синими светофильтрами. Но все опыты этой второй категории заслуживают мало доверия, так как точные фотометрические измерения доказывают, что лучи, *пропускаемые* этими цветными средами, ослаблены в весьма различной мере и что, следовательно, получаемые

химические результаты не могут быть непосредственно между собою сравниваемы. [1] Результаты эти также не сравнимы между собою и при производстве опытов в спектре, так как дисперсия в более преломляющейся части спектра значительно сильнее, чем в части, менее преломляющейся; по этой причине в первых своих опытах я и удовольствовался менее преломляющейся частью и не распространил их на синюю и фиолетовую часть. Здесь кстати можно показать, как капризны и ненадежны результаты, получаемые при помощи Энгельмановского бактериального метода. Для этого достаточно сопоставить результаты, полученные самим Энгельманом и одним из горячих защитников его метода, Пфеффером. Между тем как Энгельман обнаружил ясный второй максимум в синей части, Пфеффер, экспериментируя по тому же методу, никакого второго максимума не получил. Этот прием, следовательно, не только негоден для количественного измерения, но даже ненадежен для простого обнаружения явления.

Казалось бы, что недостаток, присущий призматическому спектру, можно было бы всего проще устранить простым вычислением, допустив, что действие света пропорционально его напряжению. Но так как закон, определяющий связь между процессом и напряжением света, не был известен, то это предположение было бы голословно, и в действительности, как мы увидим далее, закон этот гораздо сложнее.

Казалось бы также, что задачу эту еще проще разрешать экспериментальным путем, — стоит только произвести опыт не в призматическом, а в дифракционном спектре. Но ряд опытов, сделанных мною при помощи превосходной Роуландовской решетки, дал только отрицательные результаты. Как в опытах Мюллера, напряжение света не было достаточно для обнару-

[1] На это обстоятельство я указывал еще в 1868 г. Хотя ботаники до сих пор приписывают разъяснение его Волкову, но всякий понимающий дело без труда поймет, что вся статья Волкова обнаруживала только его незнакомство с строгой физической постановкой вопроса.

жения разложения углекислоты. Пришлось вернуться к спектру призматическому. Позволю себе сослаться на слова Ланглея, который, несмотря на почти баснословную чувствительность своего болометра, говорит в одной из своих позднейших работ: «В конце концов призма гораздо удобнее решетки».

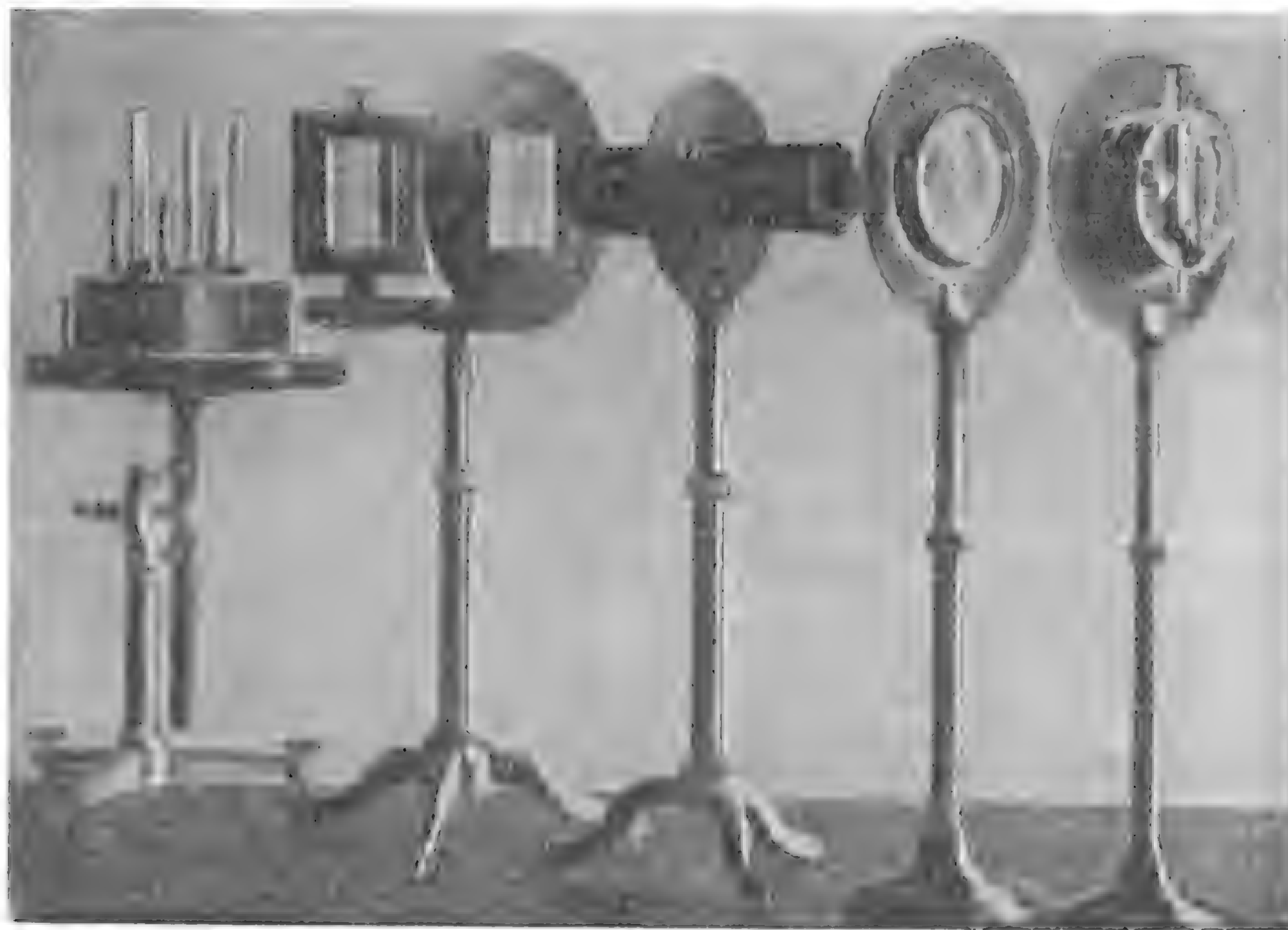


Рис. 8.

Работать с призмой, желая избежать ошибки, проистекающей от различной дисперсии в различных частях спектра, в этом случае значило просто воспользоваться известным способом для сложения лучей, разложенных призмой. При таких условиях мы соединяем интенсивность призматического спектра с удобством дифракционного. Я вначале пользовался прибором Ж. Дюбоска для получения комплементарных цветов. Он состоит из цилиндрической линзы и призмы очень малого угла, наклеенной на стеклянную пластинку. Вместо спектра мы получаем две полосы комплементарного цвета.

Позднее я придумал видоизменение этого аппарата (искусно выполненное Ф. Пелленом), состоящее из двух таких стеклянных пластин с соответствующими им призмами. При помощи зубчатки оба стекла могут скользить параллельно одно другому и делят спектр не на две, а на три части (рис. 8).

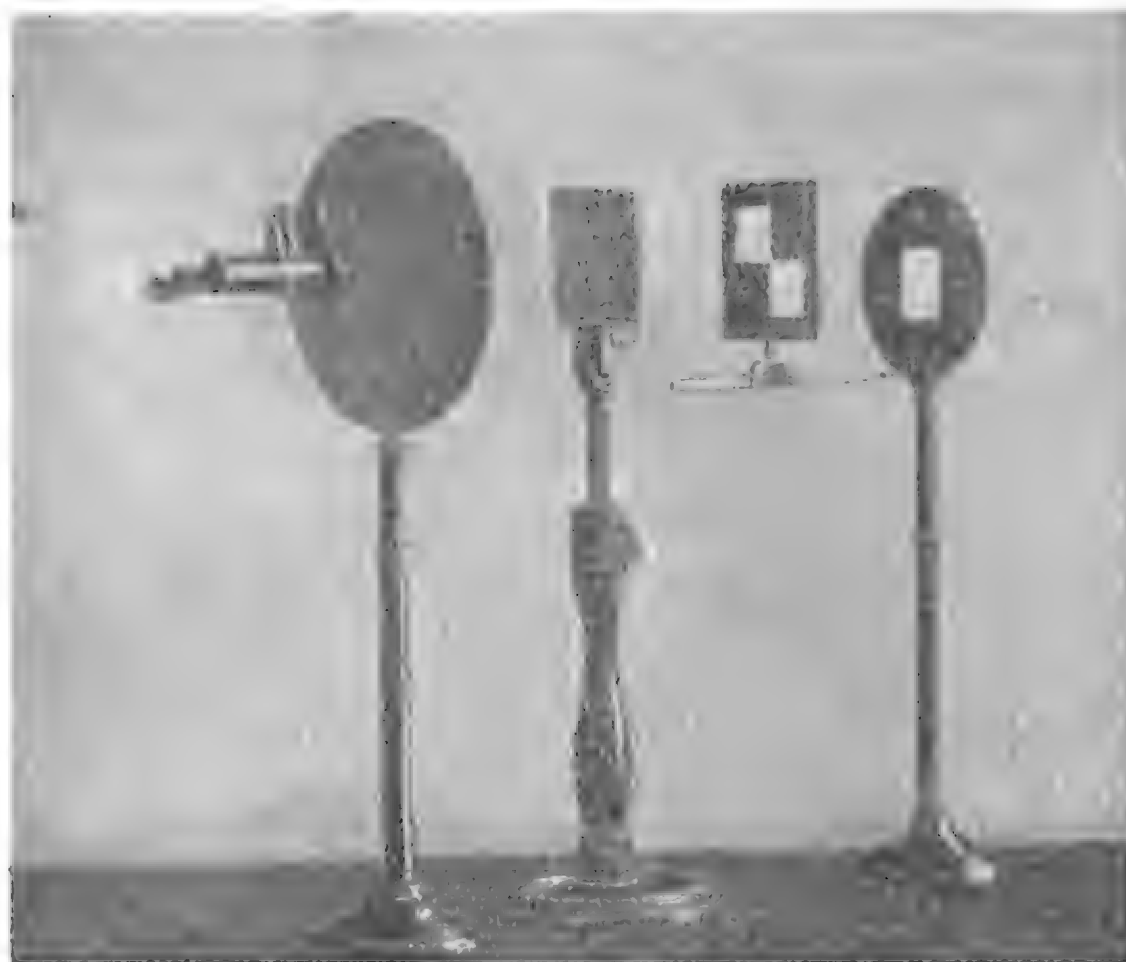


Рис. 9.

Так как при исследовании газового обмена трубки с листьями погружены своими нижними концами в ртуть, то спектр по необходимости нужно делить на части в вертикальном направлении, но в других случаях, как увидим, можно с удобством пользоваться еще более простым способом (предложенным, если не ошибаюсь, Кундтом) и делить спектр в горизонтальном направлении, причем цветные поверхности могут быть непосредственно сопоставлены (рис. 9). Как уже сказано, способы эти, если спектр делится на участки, *равные между собою* (по отношению к дифракционному спектру), соединяют преимущества решетки и призмы: различие в дисперсии устранено,

как в дифракционном спектре, а интенсивность света остается та же, что в призматическом.

Мало того, в последнем отношении этот метод представляет даже преимущество перед призматическим. В случае надобности можно употреблять спектр в значительной степени нечистый (т. е. полученный при помощи широкой щели, дающей более света), лишь бы только получаемые цветные полосы света были равномерно окрашены и представляли равные поверхности. Стоит только анализировать входящий в их состав свет [всего проще при помощи маленького Сорби-Браунинговского спектроскопа со скалою в длинах волн (рис. 9)], и тогда, несмотря на то, что изолируемые спектральные участки будут захватывать край за край, аналитические результаты могут быть прямо нанесены на скалу нормального спектра. Таким образом благодаря этому методу не только неточность, проистекающая от различия в дисперсии, но и в значительной мере неточность от нечистоты спектра могут быть устранены и таким образом достигнута возможность прямого сравнения результатов при максимальной силе света. Добавлю только, что до сих пор я предпочитаю работать с чистым спектром.

Опыт, предпринятый с целью определить относительное действие двух половин спектра, был веден следующим образом.

Луч света от большого гелиостата Фуко (работы Пеллена в Париже) с зеркалом в 80×40 см концентрировался на щели при помощи линзы в 25 см в диаметре, разлагался призмой прямого видения и снова собирался при помощи указанного выше прибора в две полосы дополнительного цвета — желтую и синюю. Если принять, что границы действующих лучей соответствуют длинам волн в 700—400 миллионных миллиметра, то линия, проходящая приблизительно около длины волны в 550 миллионных миллиметра, будет делить спектр на две половины, равные по отношению к спектру дифракционному (рис. 10). Данные газового анализа, полученные для двух равных зеле-

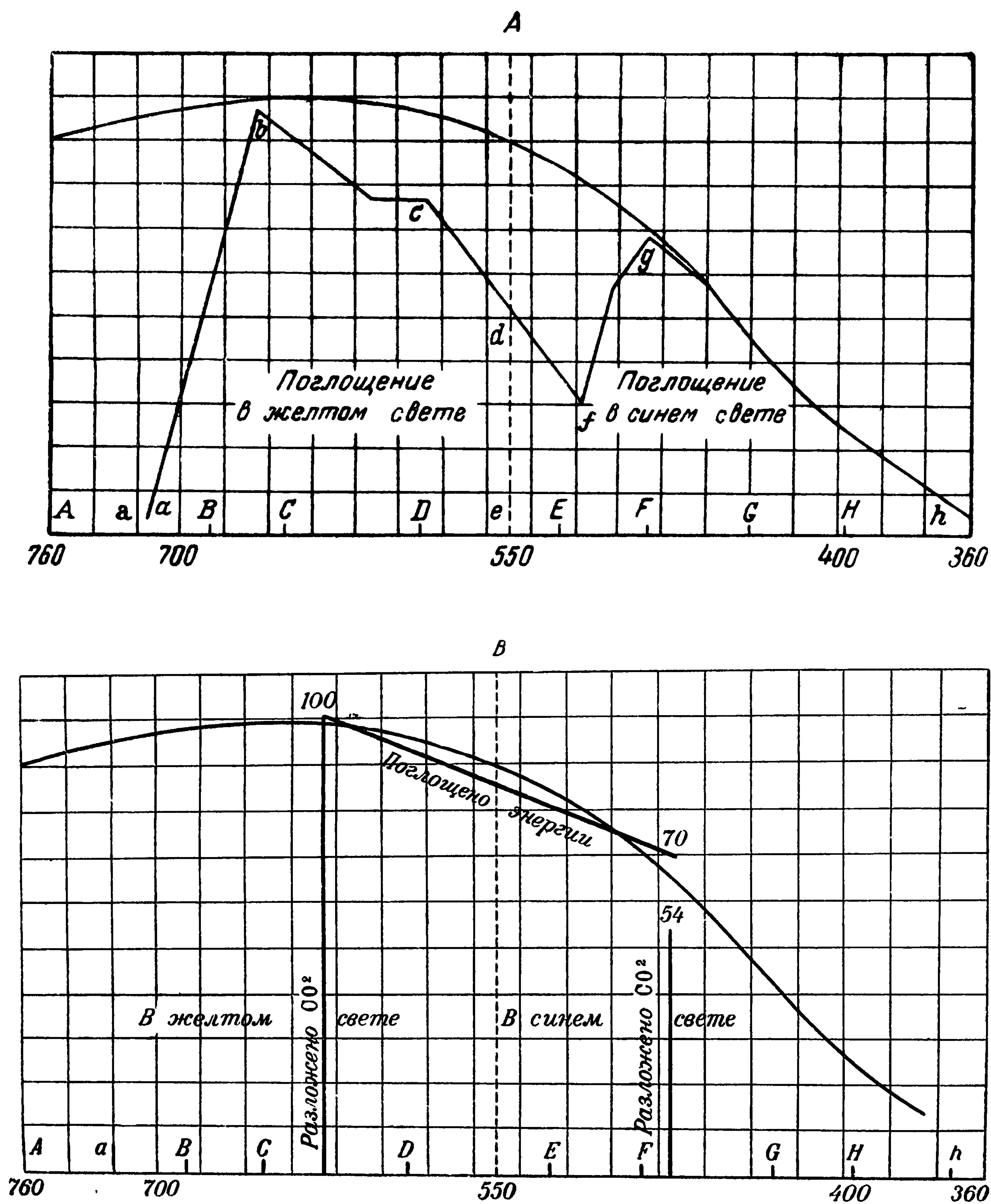


Рис. 10.

ных поверхностей, выставленных в желтой и синей полосе, могут быть, следовательно, прямо между собою сравниваемы и нанесены на скалу дифракционного спектра.

Они могут быть выражены в следующих цифрах: если мы примем количество угольного ангидрида, разложенное в желтой половине (в среднем из 6 опытов), за 100, то действие синей половины будет 54 (рис. 10 *B*). Главный результат, следовательно, сводится к тому, что синим и фиолетовым лучам до сих пор приписывали слишком слабое действие.

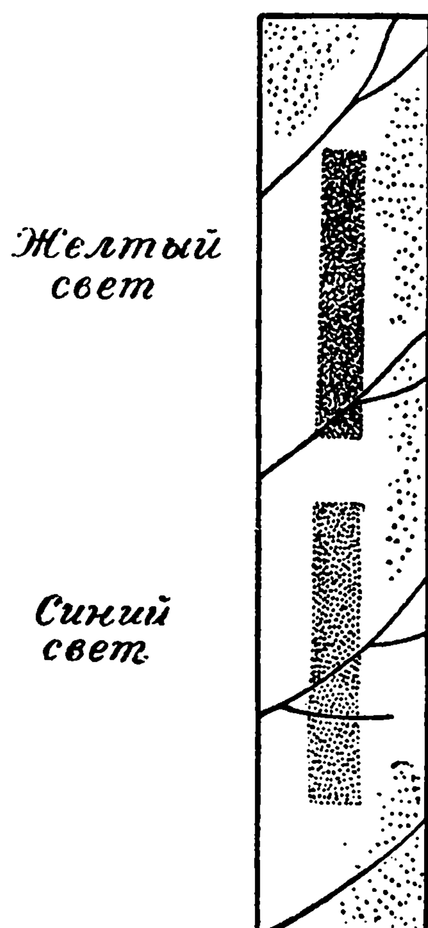


Рис. 11.

Тот же результат был получен и по отношению к иодной пробе на крахмал, причем спектр был разделен указанным выше способом в горизонтальном направлении; тогда обе поверхности располагаются одна над другой (рис. 11). Между тем как непосредственно в спектре синие и фиолетовые лучи не обнаруживали никакого действия, на этот раз, благодаря равной интенсивности обеих половин, действие синей части спектра было вполне резко выражено.

Таким образом факт, что разложение углекислоты. равно как и образование крахмала, зависит от лучей, поглощенных хлорофиллом, можно считать доказанным во всех его подробностях, тем более, что фосфороскопические исследования Анри Беккереля, фотографии Абнея и в особенности тщательное болометрическое исследование Доната показали, что в инфракрасной части нет абсорбционных полос, чем и объясняется вышеупомянутый факт, что Кальте не получил никакого разложения углекислоты при помощи лучей, профильтрованных через Тиндалевский иодный раствор.

Теперь мы должны перейти к рассмотрению второго из двух упомянутых выше соображений, касающихся связи между фотохимическим процессом и поглощением света хлорофиллом. Мы видели, что Жамен, Беккерель и Ломмель высказывали

мнение, что закон Гершеля применим к этому случаю. Но мне представлялось, что в их рассуждении можно было усмотреть логическую ошибку, что между посылками и выводами не было надлежащей связи.

Закон Гершеля подразумевает, что фотохимическое действие ограничивается теми лучами света, которые поглощаются веществом, *испытывающим* химическое изменение. Гершель сам применил этот закон к хлорофиллу, показав, что он выцветает, линяет как раз в тех лучах спектра, которые соответствуют полосам поглощения.

Но в разложении углекислоты мы имеем совершенно иной случай: вещество, подвергающееся разложению,— бесцветный газ, а поглощается свет совсем иным веществом — хлорофиллом. Решительно не было возможности усмотреть здесь прямого применения закона Гершеля, и вот почему я и не настаивал на его применении в начале моих исследований. Но по этой же причине я один из первых приветствовал и оценил все значение для физиологии блестящего открытия Фогеля — его *оптических* сенсибилизаторов — еще в то время, когда многие авторитетные ученые отрицали самое открытие.[1]

Это замечательное открытие не только произвело революцию в практике фотографии, но и доставило физиологу то недостающее логическое звено, отсутствие которого не дозволяло ему распространить закон Гершеля на фотохимический процесс, совершающийся в зеленом листе. Вслед за Фогелевским открытием действия эозина появилось исследование Э. Беккереля над сенсибилизирующим действием хлорофилла на чувствительную коллодиальную пластинку, так что без малого через год после появления моего первого сообщения (на конгрессе ботаников во Флоренции) я уже мог дать своим опытам рацио-

[1] Обратно, и Фогель был одним из немногочисленных немецких ученых, принявших мои результаты, когда они еще отвергались всеми немецкими ботаниками.

нальное объяснение с точки зрения Фогелевской теории сенсибилизаторов. Эта мысль, что хлорофилл играет в живом организме роль оптического сенсибилизатора, которую я высказал в первый раз в 1875 году, теперь может считаться общепринятой, но, я полагаю, найдется немного ботаников, которые имели бы случай видеть фотографическое действие хлорофилла на чувствительную пластинку. Благодаря любезности покойного Э. Беккереля я видел в 1877 году его превосходные коллодиальные пластинки, но теперь коллодиальный способ мало распространен, и потому я пытался найти наиболее легкий способ для демонстрирования действия хлорофилла на обыкновенную броможелатинную пластинку. Спиртовые растворы хлорофилла в этом случае неудобны, и я нашел, что их можно очень удобно заменить хлорофиллатом натрия, растворимым в воде.

Вот пластинка (Ilford, Ordinary), наполовину погруженная в баню хлорофиллата натрия и затем выставленная в спектр, ограниченный при помощи желтого светофильтра его наименее преломляющеюся частью. Ясно видно, что, между тем как на обыкновенной пластинке действие света останавливается приблизительно при линии *D*, в той ее части, которая была погружена в хлорофилловую баню, выступает резкая широкая полоса, соответствующая главной абсорбционной полосе хлорофилла между линиями *B* и *C* (рис. 12).

Я старался провести аналогию между действием хлорофилла в листе и в фотографической пластинке еще далее и показать, что хлорофилл — оптический сенсибилизатор не только в смысле Фогеля, но и в смысле сэра Уильяма Абнея.

Сэр Уильям Абней, как известно, признает, что всякий оптический сенсибилизатор, как общее правило, представляет из себя линючую краску, т. е. быстро обесцвечивается под влиянием света. Классические исследования сэра Джона Гершеля над обесцвечиванием бумаги, окрашенной хлорофиллом, уже доказывали, что хлорофилл принадлежит к этой категории. Вот отпечаток листа папоротника, полученный при помощи

хлорофилла. Лист этот был наложен на пластинку из коллодиума, окрашенного хлорофиллом. После непродолжительной экспозиции на солнце все поле выцвело, а части, защищенные листом, сохранили свою оригинальную окраску. Изображение фиксируется непродолжительным погружением в баню из медного купороса. Подвергая такие коллодиально-хлорофилловые пластинки действию различных лучей спектра, я убедился, что обесцвечивание вызывается теми же лучами, которые вызывают разложение углекислоты.

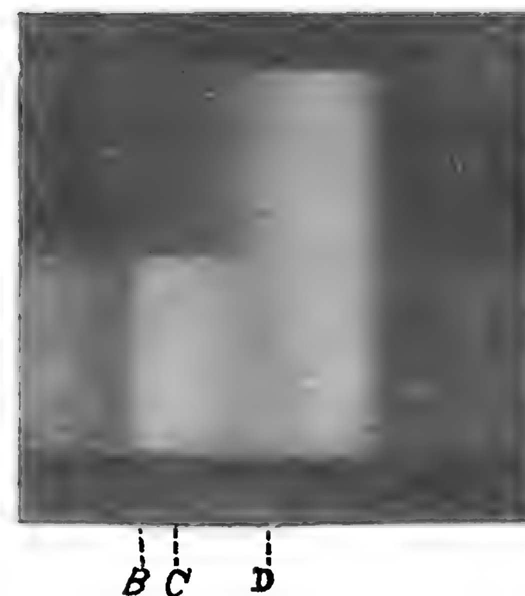


Рис. 12.

Мне, может быть, будет дозволено остановиться несколько подробнее на этом важном вопросе о роли хлорофилла как сенсибилизатора. Сенсибилизаторы подразделяются обыкновенно на две группы: на сенсибилизаторы химические и оптические. Первые считаются просто поглотителями одного или более продуктов реакции, последние в то же время поглощают лучистую энергию. Оптическому сенсибилизатору в то же время приписывается обыкновенно роль и химического, но обратное, конечно, не очевидно. Существование химических сенсибилизаторов допускалось задолго до открытия Фогеля; много случаев такого действия можно найти в известной, уже упомянутой книге Э. Беккереля, и потому еще в 1871 году в своем исследовании «Спектральный анализ хлорофилла» я указывал, что за хлорофиллом можно признать роль сенсибилизатора в этом, чисто химическом смысле. Я настаивал на том, что процесс разложения угольного ангидрида — по существу процесс диссоциации, что «скорость процесса диссоциации зависит от удаления ее продуктов», «что растение действует как поглотитель, постоянно нарушающий равновесие между угольным ангидридом и продуктами его диссоциации», и, наконец, что мы, вероят-

но, должны допустить существование двух видоизменений хлорофилла, подобных гемо- и оксигемоглобину крови, причем второй из них способен образовать продукт, аналогичный карбонилгемоглобину.

В то время мне казалось, что эти два состояния окисления соответствуют нормальному зеленому хлорофиллу и тому, что сэр Джордж Стокс назвал «измененным» (modified) хлорофиллом (рис. 3), так как мои опыты поставили вне сомнения, что это последнее тело — продукт окисления первого. Но позднее я нашел новую реакцию хлорофилла, которую я считаю крайне важной с физиологической точки зрения, теперь нами обсуждаемой. Когда на хлорофилловый раствор умеренной концентрации действуют водородом в момент выделения, получается почти бесцветное или бледно-желтое тело, обладающее при значительной концентрации превосходным пурпуровым цветом. Вещество это может существовать только при полном отсутствии кислорода. Приходя в прикосновение с воздухом, оно почти моментально принимает свой прежний зеленый цвет. Спектр этого продукта восстановления хлорофилла (я предложил для него название протохлорофиллина или проще протофиллина) характеризуется при слабой концентрации отсутствием полос поглощения в наименее преломляющейся части спектра, но при достаточной концентрации представляет ясную полосу, почти соответствующую II полосе хлорофилла, и другую около IV, но без следов главной хлорофилловой линии I. Это был первый случай получения продукта, который отличался полным отсутствием того, что считалось главной характеристикой хлорофилла. Очевидно, мы здесь в первый раз имели дело с производным хлорофилла, из которого при его соприкосновении с кислородом почти моментально обратно возрождается хлорофилл.

Получив эти столь важные реакции восстановления и обратной регенерации хлорофилла в его растворах, я приложил все старания, чтобы доказать присутствие протофиллина в живом

растении. Так как образование хлорофилла в этиолированных сеянцах является реакцией окисления (факт этот был установлен в моей лаборатории Дементьевым в 1873), то было естественно обратить именно в этом направлении свои поиски за протофиллином, так легко окисляющимся в хлорофилл. Указания, встречаемые в литературе, впрочем, мало к тому поощряли. Так называемый *этиолин* немецких ботаников всегда представлял характеристические спектральные черты хлорофилла. Мои первые шаги были также неудачны. Я получал, правда, растворы, в которых II полоса была более резко выражена, чем в хлорофилле; она равнялась I, даже превосходила ее, но тщетно искал я растворов, в которых I полоса совершенно отсутствовала бы, пока не напал на мысль, что предосторожности, которые до тех пор принимались, не были достаточны для точного устранения действия света. Я заключил горшки с семенами, предназначенными для прорастания (лучшим материалом оказался подсолнечник), в жестянки, которые в свою очередь помещались в шкафу в фотографической комнате, а растворы приготовлялись в той же темной комнате с соблюдением предосторожностей, употребляемых в ортохромной фотографии. Результатом этого приема было получение протофиллина без следов хлорофиллового спектра.

Так как красящая способность этих растворов незначительна, то пришлось изучать их спектры в трубках в $^1/_2$ метра длиною. Обыкновенно 10—20 семянодолей было достаточно для получения необходимого раствора для наполнения этой трубки. Но стоило выставить на свет на минуту одну или даже часть семянодоли, чтобы получить раствор с ясными резкими полосами хлорофиллового спектра. Эти факты указывают вне всякого сомнения, что в живом растении существует красящее вещество со свойствами восстановленного хлорофилла, почти моментально превращающееся в хлорофилл под влиянием света.

Конечно, было бы еще важнее получить непосредственное доказательство присутствия этого продукта восстановления

17*

хлорофилла в зеленом листе; только установление этого факта могло бы быть принято как доказательство, что хлорофилл играет роль химического сенсибилизатора. Но открытие его присутствия в зеленом листе сопряжено с несомненными трудностями. Как я только что указал, растворы *протофиллина* обладают красящею способностью несравненно более слабою, чем растворы хлорофилла, и потому эти последние всегда могут маскировать их присутствие. Таким образом, допустив, что предполагаемое восстановление хлорофилла совершается в зеленом листе, мы можем ожидать, что оно не обнаружится ни в изменении цвета листа, ни в изменении спектра его раствора, а разве только в изменении интенсивности зеленой окраски, в известном ее выцветании или побледнении. Такая, более бледная окраска листьев, выставляемых на свет, действительно неоднократно замечалась, но обыкновенно ее приписывают перемещению или изменению в форме хлоропластов,— предположение, как мне кажется, мало вероятное в применении к палисадной паренхиме, особенно когда лучи не падают в направлении, строго параллельном продольной оси клеточек. Мне представляется весьма вероятным, что по крайней мере значительная часть этого выцветания зеленых листьев может быть приписана превращению хлорофилла в протофиллин.

Подводя итог, мы можем, следовательно, допустить существование не только двух, как в крови, но даже трех состояний окисления зеленого вещества растения. Эти превращения, вероятно, послужат нам исходной точкой для теории хлорофилла как *химического* сенсибилизатора.

Представив доводы в пользу предположения, что хлорофилл играет роль сенсибилизатора в обоих смыслах этого слова, т. е. химического, или поглотителя продуктов реакции, и оптического, или поглотителя деятельных лучей, я постараюсь сделать еще шаг далее и привести соображения, заставляющие меня видеть в нем не только одного из бесчисленных представи-

телей этой группы, но и вещество, совсем особенно приспособленное к этой функции.

С самого начала моих исследований я был убежден, что такая по существу эндотермическая реакция, как диссоциация угольного ангидрида, должна стоять в каком-нибудь отношении с энергией луча, принимающего участие в процессе. В то время физики не обладали никакими точными сведениями о распределении энергии в спектре, но я тем не менее определенно высказал мысль, что будущие исследования в диффракционном спектре могут изменить ходячие представления о тепловом эффекте различных лучей и докажут, что наибольшей энергией обладают не инфракрасные лучи, а известные лучи видимого спектра, быть может, те самые, которые поглощаются зеленым растением, так что два максимума — энергии и абсорбции хлорофиллом, быть может, в конце концов совпадут.

Эти мои предсказания блистательно оправдались в известных опытах Ланглея и сэра Вильяма Абнея. Я обратил внимание на это предвиденное мною совпадение в небольшой заметке в Comptes Rendus Парижской Академии вскоре после появления работы Ланглея. Так как моя точка зрения до сих пор оспаривается, так как даже верность моих ссылок подвергнута сомнению Энгельманом, я считаю себя вынужденным предъявить оригинальные данные. Вот кривые обоих исследователей, заимствованные из статьи сэра Вильяма Абнея из «Proceedings» Королевского Общества за 1887 (рис. 13). Максимум энергии соответствует длине волны, лежащей на двух третях между 600- и 700-миллионными миллиметра, скажем, на 666 (цифра, легко запоминаемая, так как это число Зверя!). Максимум поглощения лежит где-то на двух третях между B и C, т. е. между 686 и 656,— значит, также приблизительно при 666-миллионных миллиметра. Позднее Ланглей доставил еще другие данные, которые приведены на рис. 10, так как мы вскоре будем иметь случай к ним обратиться. Должно заметить, что эти последние данные относятся к тому, что Ланглей называет «высо-

ким солнцем», — для средней интенсивности, за весь день, совпадение с первой кривой (рис. 13) было бы более полное. Мы можем взглянуть на это соотношение еще с другой точки зре-

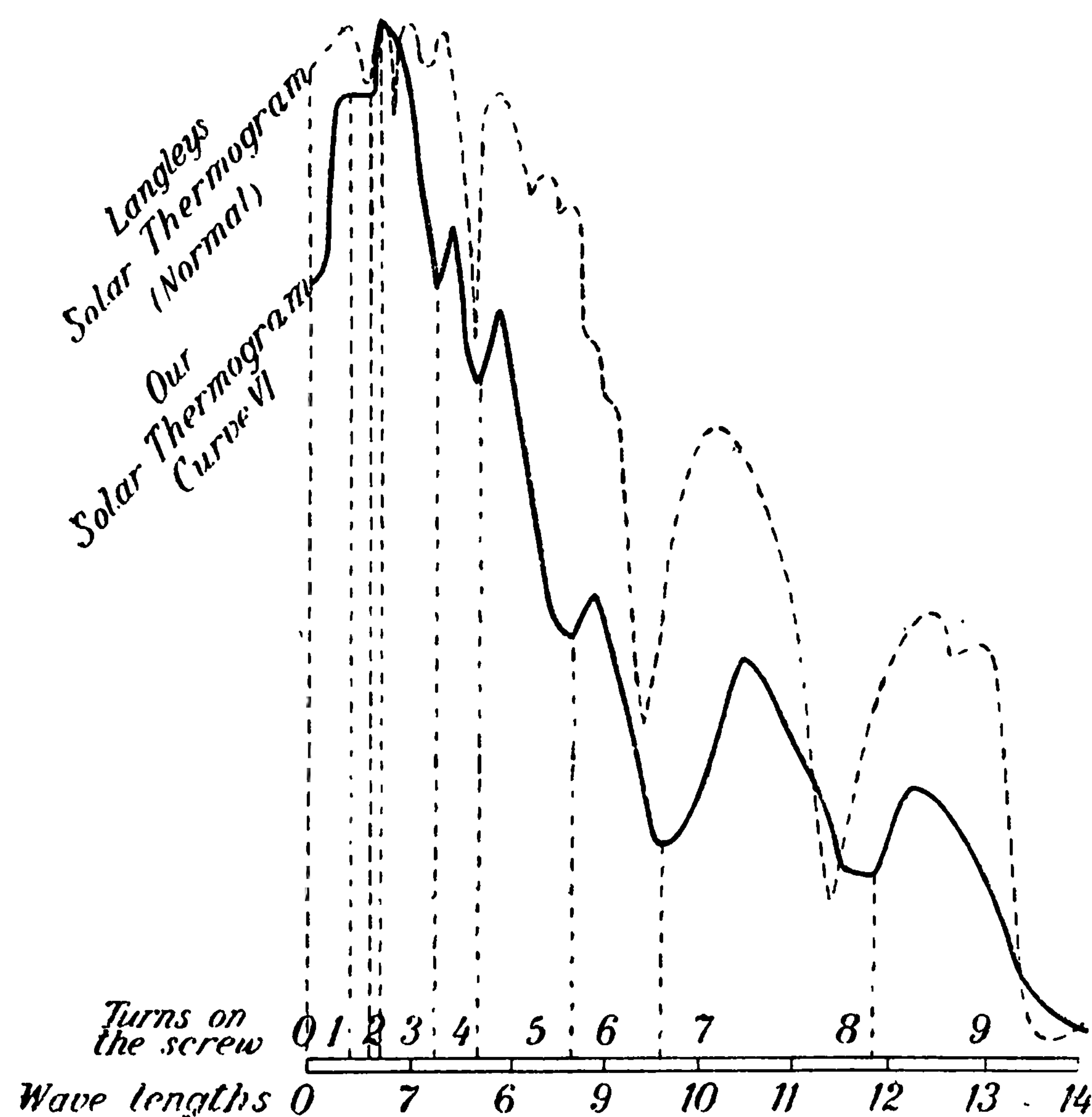


Рис. 13.

ния. Здесь (рис. 14) представлена попытка выразить относительные амплитуды волн, соответствующих различным частям спектра, и можно усмотреть, что наибольшая амплитуда колебаний соответствует как раз той части спектра, где лежит главная абсорбционная полоса хлорофилла (666) и максимум разложения угольного ангидрида.[1]

---

[1] Еще поразительнее представится нам это совпадение, если мы обратимся к скале электромагнитных волн проф. П. Н. Лебедева («Физическое обозрение» 1901 г.). Из числа каких-нибудь 50 октав, на ней изображенных, весь видимый спектр занимает всего одну; главная абсорбцион-

Но, быть может, мы найдем еще более убедительный аргумент в пользу предположения, что фотохимическое действие лучей является функцией их энергии в сравнении действия хлорофилла и других сенсибилизаторов, а еще более в сравнении относительного действия желтого и синего света в только что приведенном опыте.

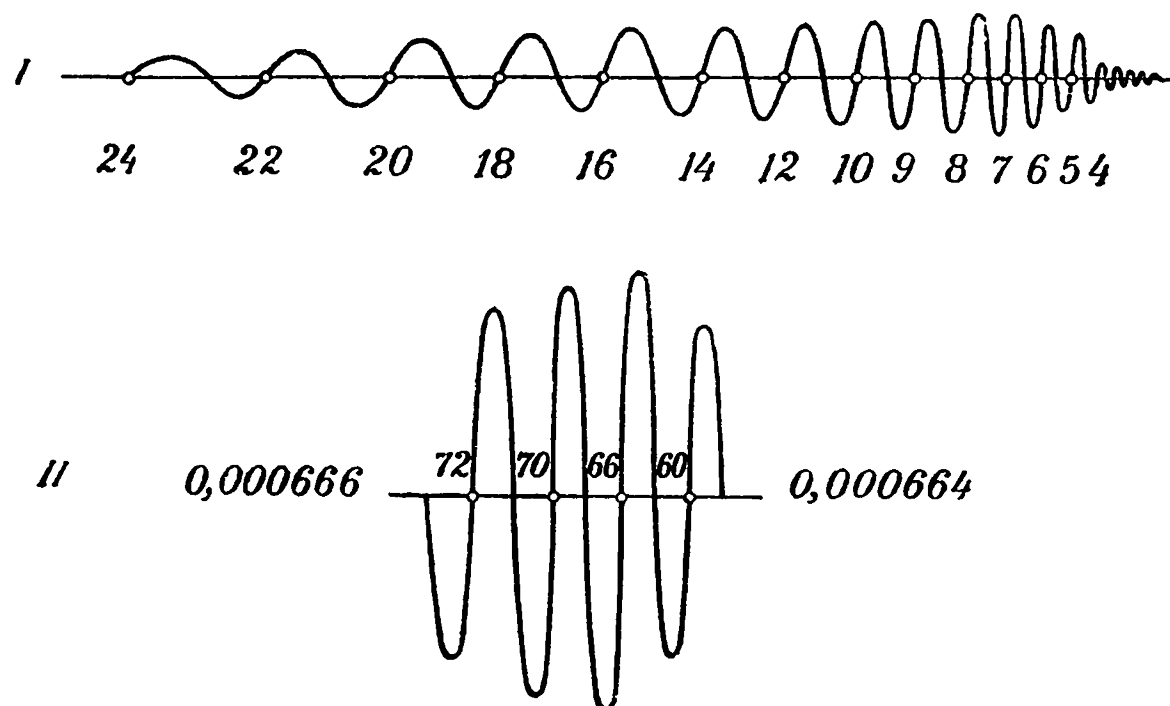


Рис. 14.

Существует факт, опирающийся на свидетельство таких опытных наблюдателей, как Эдер и Фогель, и особенно ясно вытекающий из обстоятельного исследования Акуорта, — именно, что оба максимума, абсорбции света сенсибилизатором и фотографического его действия на сенсибилизированную пластинку, не представляют строгого совпадения, причем, как общее правило, этот последний всегда бывает смещен в сторону красного конца спектра. До сих пор не предложено никакого объяснения для этого факта, не предлагает его и Акуорт, хотя считает, что правило это стоит вне сомнения и не встречает ни одного исключения. Но по отношению к хлорофиллу в исследо-

---

ная полоса хлорофилла занимает, примерно, десятую ее часть, и в этом-то незначительном интервале встречаются и maximum энергии и maximum химического действия.

вание Акуорта, повидимому, вкралась ошибка. Он полагает, что и хлорофилл не представляет исключения из установленного им закона — что максимум фотографического действия не совпадает с максимумом поглощения в I абсорбционной полосе, а смещен в сторону красного конца спектра. При внимательном рассмотрении его соответствующей фигуры возникает, однако, серьезное сомнение. Как во всех случаях, Акуорт дает две кривые — абсорбции и сенсибилизации, но в действительности его указания по отношению к спектру хлорофилла (как в тексте, так и в фигуре) представляются неточными. Вот его собственные слова: «Die Absorption dieser Emulsion ist, was die Haupt und weniger brechbare Band betrifft, deutlich ausgeprägt. Dieses beginnt etwas vor C, erreicht bei C $^1/_3$ D ein Maximum; jenseits desselben ist die Absorption nicht hinlänglich scharf zu verfolgen um sie genau zeichnen zu können».[1]

Но мы знаем на основании бесчисленных наблюдений, что главная абсорбционная полоса хлорофилла лежит между B и C, т. е. там, где бесчисленные наблюдатели помещают главную полосу I хлорофилла, — показание это согласно со всеми другими свидетельствами. Начиная с первого опыта Э. Беккереля и кончая моими фотографиями, мы неизменно встречаем максимум фотографического действия между линиями B и C. Таким образом, Акуорт помещает максимум фотографического действия совершенно верно, но максимум поглощения несомненно неверно, и только благодаря этой ошибке у него хлорофилл подходит под общее правило.

На деле эти обе точки вполне совпадают, и в силу этого совпадения хлорофилл представляет исключение из общего правила относительно смещения максимума фотографического действия в красную сторону спектра (по сравнению с максиму-

[1] «Абсорбция этой эмульсии, что касается главной наименее преломляемой полосы, резко выражена. Она начинается немного раньше C, достигает максимума на расстоянии $^1/_3$ от C до D; по другую же сторону абсорбция недостаточно резко выражена и потому ее нельзя точно указать».

мом поглощения). Мне представляется, что как это исключение, так и самое правило нашло бы себе объяснение в простом допущении, что фотохимическое действие зависит не только от степени поглощаемости вызывающей его группы лучей (из которых слагается абсорбционная полоса), но и от относительной энергии или амплитуды колебания соответствующих волн. В каждой абсорбционной полосе (в пределах видимого спектра) сторона, ближайшая к красному концу, будет состоять из лучей, обладающих большей энергией, чем сторона, ближайшая к фиолетовому, и на основании только что сделанного допущения максимум фотографического действия должен смещаться в эту сторону. Так будет, пока мы не дойдем до той части в красном, где оба максимума — абсорбции и энергии — совпадают. В этом месте не будет никакого повода для смещения фотографического максимума, и мы таким образом получим объяснение для факта, почему хлорофилл представляет любопытное исключение из общего правила, применимого ко всем остальным сенсибилизаторам. Конечно, самым лучшим *experimentum crucis* для проверки моей гипотезы был бы опыт с удивительной инфракрасной фотографией сэра Вильяма Абнея — если бы оказалось, что в инфракрасной части спектра [1] закон Акуорта извратился, максимум фотографического действия стал бы перемещаться в другую сторону, но попрежнему в направлении максимума энергии. Конечно, такие опыты лежат вне круга деятельности ботаника.

А пока мне кажется, что и те факты, с которыми мы только что познакомились, по отношению к сравнительному действию желтых и синих лучей могут быть истолкованы в смысле предполагаемой связи между химическим процессом и энергией луча. Мы можем в действительности рассматривать этот случай как предельный, так как он дозволяет нам непосредственное сравнение действия двух групп лучей, поглощаемых одним

[1] То есть на другом скате кривой энергии.

и тем же телом на двух пределах видимого спектра и, следовательно, обладающих наибольшим различием по отношению к присущей им энергии. Мы видели, что если разлагающее CO_2 действие лучей наименее преломляющейся части спектра выразится цифрой 100, то действие лучей наиболее преломляющейся — выразится цифрой 54.

Но мы должны еще принять во внимание различную степень поглощения света хлорофиллом в этих двух частях спектра. Казалось бы, всего проще принять во внимание только видимые абсорбционные полосы растворов, представляющих такую же степень концентрации красящего вещества, как и в листе (мы увидим вскоре, как получаются такие растворы). Так я в действительности и поступил на первых порах. Но эта оценка только лишь приблизительная, так как невооруженный глаз — плохой фотометр для оценки слабых и, главное, постепенных различий в световом напряжении. Как уже сказано выше, в таких случаях нужно прибегать к приему спектрофотометрическому. Выбор фотометра не безразличен; так, например, до последнего времени употребляемый спектрофотометр Фирорта с двойною щелью (примененный и Энгельманом в его микроспектральном приборе) не внушает доверия, как я это высказал немедленно по его появлении и позднее доказал простым наблюдением. Из всех предложенных спектрофотометров самым практичным, т. е. соединяющим точность с простотой, я считаю спектрофотометр Дарзонваля, которым пользуюсь уже много лет.[1] Вот спектрофотометрические кривые для растворов нормального и *измененного* хлорофилла (Стокса). А вот спектрофотометрическая кривая, соответствующая поглощению света одним листом клена, подобным тем, с которыми были произведены опыты с желтым и синим светом (рис. 10 *А*). Приведен-

---

[1] В 1896 году я предъявлял в ботаническом Отделе общества любителей естествознания спектрофотометрические кривые для хлорофилла и его производных, полученные при помощи этого спектрофотометра.

ные к нормальному спектру энергии эти относительные количества поглощения *света* выразятся площадями a, b, c, d, e и e, d, f, g, h. Общее количество энергии всего видимого спектра я заимствую, как уже сказано, из статьи Ланглея «Энергия и зрение», помещенной в Philosophical Magazine, за 1889 год. Относительные количества энергии, поглощенной листом, соответственно этим площадям a, b, c, d, e и e, d, f, g, h, будут 100 для желтого и 70 для синего света. Если мы сопоставим их с числом, выражающим разложение угольного ангидрида в тех же группах лучей (100 для желтого и 54 для синего), то получим новый аргумент в пользу предполагаемой прямой связи между химическим процессом и энергией луча (рис. 10 *B*).

Приняв во внимание все сказанное, мы, кажется, вправе утверждать, что факты говорят в пользу допущения (по крайней мере насколько это касается хлорофилла), что фотохимическое действие луча зависит не от одной только степени его поглощаемости, но и от энергии или амплитуды колебания входящих в его состав волн или, другими словами, что из двух волн, одинаково поглощаемых, наибольшее действие окажет та, которая обладает наибольшей амплитудой колебания. С этой-то точки зрения и представляется, что хлорофилл, поглощающий те именно лучи, которые обладают наибольшей энергией, можно считать не только сенсибилизатором, но, может быть, наилучшим из сенсибилизаторов, особенно приспособленным к своей функции.

Я чувствую, что я не могу расстаться с изложенными до сих пор результатами моих исследований, не сказав несколько слов относительно положения, принятого по отношению к ним самой обширной школой немецких физиологов, представленной Саксом и Пфеффером. Вот самое позднейшее мнение, высказанное по этому поводу Саксом, когда ему, несомненно, были известны мои исследования. «Все прямые наблюдения показывают, что максимум выделения кислорода лежит в желтом

свете. В общем итоге все до сих пор произведенные исследования относительно спектра хлорофилла не обнаружили ни одного факта, который имел хотя бы малейшее физиологическое значение,— другими словами, мы знали бы о физиологической функции хлорофилла ровно столько же, если б нам вовсе не был известен его спектр». Слова эти не нуждаются в комментариях.

Также общеизвестно, что профессор Пфеффер был долгое время моим оппонентом и самым отъявленным сторонником старой теории. В первом издании своего учебника он останавливается на моей работе и признает ее за экспериментальную ошибку, не заслуживающую внимания. Но вскоре за появлением его книги во мнении ученых обнаружился поворот в пользу моей точки зрения, благодаря Ван-Тигему во Франции и профессору Сиднею Вайнзу в этой стране.[1] В то же время Энгельман и Рейнке, хотя при помощи методов, несравненно менее точных, чем те, которые были применены мною, получили результаты, согласные с моими. Пфефферу невозможно было далее защищать свою старую позицию, и во втором издании своей книги он фактически принимает мое воззрение, но зато при обсуждении вопроса не упоминает даже моего имени. Результаты, которые подлежали сомнению, презрительно отвергались, пока они были связаны с моим именем,— теперь, когда их приходится признать верными, они просто приписываются двум упомянутым немецким исследователям. Мало

[1] Из прений, возникших, согласно обычаю Королевского Общества, после моей лекции, я узнал следующую лестную для меня подробность. «Когда я,— сказал Вайнз,— в то время еще начинающий преподаватель, дошел в своем курсе до главы об ассимиляции, я остановился в недоумении перед резким противоречием между немецкими авторитетами и Тимирязевым. Мне казалось, что Тимирязев прав, но я все же обратился за советом к своему коллеге, также молодому физику. Ознакомившись с вопросом, он сказал: конечно, прав Тимирязев. Этот молодой физик,— добавил Оксфордский профессор,— теперь лорд Рейлей».

того, для примирения его прежней и современной точек зрения им развивается еще новая теория, столь же ложная, как старая. Профессор Пфеффер утверждает, что существуют две различные кривые для того же процесса ассимиляции: одна, первичная, соответствующая абсорбционному спектру хлорофилла, и другая, вторичная, имеющая максимум в желтых лучах. Но не трудно доказать, что этой вторичной кривой не существует вовсе. Если бы Пфеффер был прав, то я должен был бы получить его вторичную кривую, но именно я первый и самым несомненным образом получил первичную, т. е. единственную, имеющую реальное существование, поэтому он и был вынужден обойти молчанием мои работы. Его вторичная кривая, помимо ее теоретической невероятности, просто фикция, выдвинутая вперед, чтобы прикрыть его вынужденное отступление.

Указав на положение, принятое по отношению ко мне этими германскими физиологами, я тем более чувствую себя вынужденным высказать свою признательность покойному Эдмонду Беккерелю и Бертло, так как благодаря им мои труды проникли на страницы Comptes Rendus и Annales de Chimie et de Physique.

II

До сих пор мы рассматривали нашу задачу с ее качественной стороны, мы изучали фотолиз, или разложение угольного ангидрида, и фотосинтез, или образование крахмала, в их зависимости от химических и оптических свойств хлорофилла и относительной энергии действующих лучей.

Теперь мы рассмотрим то же явление с количественной точки зрения, т. е. в его отношении к общему количеству падающей на зеленый лист энергии,— попытаемся найти закон, выражающий зависимость этого явления от напряжения лучистой энергии.

Эдмонд Беккерель в его неоднократно нами цитированной книге «La lumière, ses causes et ses effets» первый обратил вни-

мание на количественный учет солнечной энергии, слагающейся в зеленом растении; он сделал первую попытку определения того, что Горас Броун недавно так уместно назвал *экономическим коэффициентом* этого фотохимического процесса. Он получил очень умеренную цифру. Потенциальная энергия органического вещества, образуемого культурой подсолнечника (одной из самых продуктивных), составляет $^{4}/_{1000}$ солнечной энергии, выпадающей на данную площадь. Лесные культуры дают только $^{1}/_{1000}$. Несколько лет позднее (в 1871 г.) я применил те же приемы вычисления к более определенным физиологическим данным (вместо агрономических, которые только и были в распоряжении Беккереля) и получил около 1%. В 1876 году мой старый друг, профессор Н. Мюллер, сделал в первый раз прямой опыт, поместив и лист, разлагавший углекислоту, и пиргелиометр в одинаковые условия. Он получил до 5%, и эта оценка на мой взгляд слишком высокая, что может быть приписано тому, что его пиргелиометрические данные слишком велики в сравнении с обыкновенно принимаемыми. В 1894 году я повторил этот опыт, поместив лист и пиргелиометр в одинаковые условия, как будет изложено далее, и получил цифру 3.3%. Должно заметить, что как в опытах Мюллера, так и в моих листья находились в искусственной среде, в газовой смеси, содержавшей 5—10% угольного ангидрида, дающей наиболее выгодные результаты. Совершенно недавно М. Горас Броун сделал в высшей степени любопытное и гораздо более затруднительное определение той же величины. Он произвел свой опыт при естественных условиях, т. е. в струе атмосферного воздуха с его нормальным содержанием угольного ангидрида. Он получил 0.5%, но в одном случае (когда воздух был обогащен угольным ангидридом, так что содержание этого последнего в $5^{1}/_{2}$ раз превышало нормальное) эта цифра возросла до 2%.

Теперь, когда мы можем с уверенностью сказать, что разложение углекислоты вызывается только теми лучами, которые

поглощаются хлорофиллом, становится очевидным, что этот *«экономический коэффициент»* должен прежде всего зависеть от степени поглощения света зеленым веществом листа. Я считаю излишним настаивать на том, как важно для физиолога знать эту величину, т. е. ту долю солнечной энергии, которую растение может использовать. Следующий термоскопический прием, предложенный мною в 1884 году, представляется мне и теперь наиболее простым и точным способом определения этой величины. Задача в том виде, в каком она представляется в действительном листе, крайне сложна, вследствие явлений светорассеяния, представляемых клеточками и отдельными зернами хлорофилла — явлений очень сходных с тем, которое представляет слой частичек серебра в фотографической пластинке, как это было недавно остроумно разъяснено сэром Вильямом Абнеем. Но эта задача может быть значительно упрощена, если вместо естественного листа мы возьмем то, что можно назвать жидким листом. Если при помощи стальной сечки мы высечем из листа известную площадь и растворим зеленое вещество этого куска в таком количестве алкоголя, которое выполнит вполне стеклянную ванночку с параллельными стенками, просвет которой представляет ту же площадь, то мы получим жидкий слой красящего вещества той же концентрации. Если рядом с этим раствором мы определим поглощение света стеклянным сосудом и растворителем, то разность этих двух величин даст нам поглощение, которое должно быть приписано зеленому веществу листа. Все измерения производились при помощи особой формы термоэлектрического столбика, придуманного мною еще в 1870 году и первый раз выполненного для меня самим стариком Румкорфом, — формы совершенно сходной с той, которую недавно предложил Рубенс. Брусочки или проволочки (смотря по тому, какие употребляются металлы), из которых состоят термобатареи, спаиваются в форме зигзагов, так что оба ряда спаев обращены в одну сторону (а не в противоположные, как в столбике Меллони). Когда один из рядов

обращен к солнцу, а другой защищен экраном, мы измеряем непосредственное солнечное лучеиспускание. Поставив на пути луча сосуд с раствором хлорофилла, узнаем долю лучеиспу-

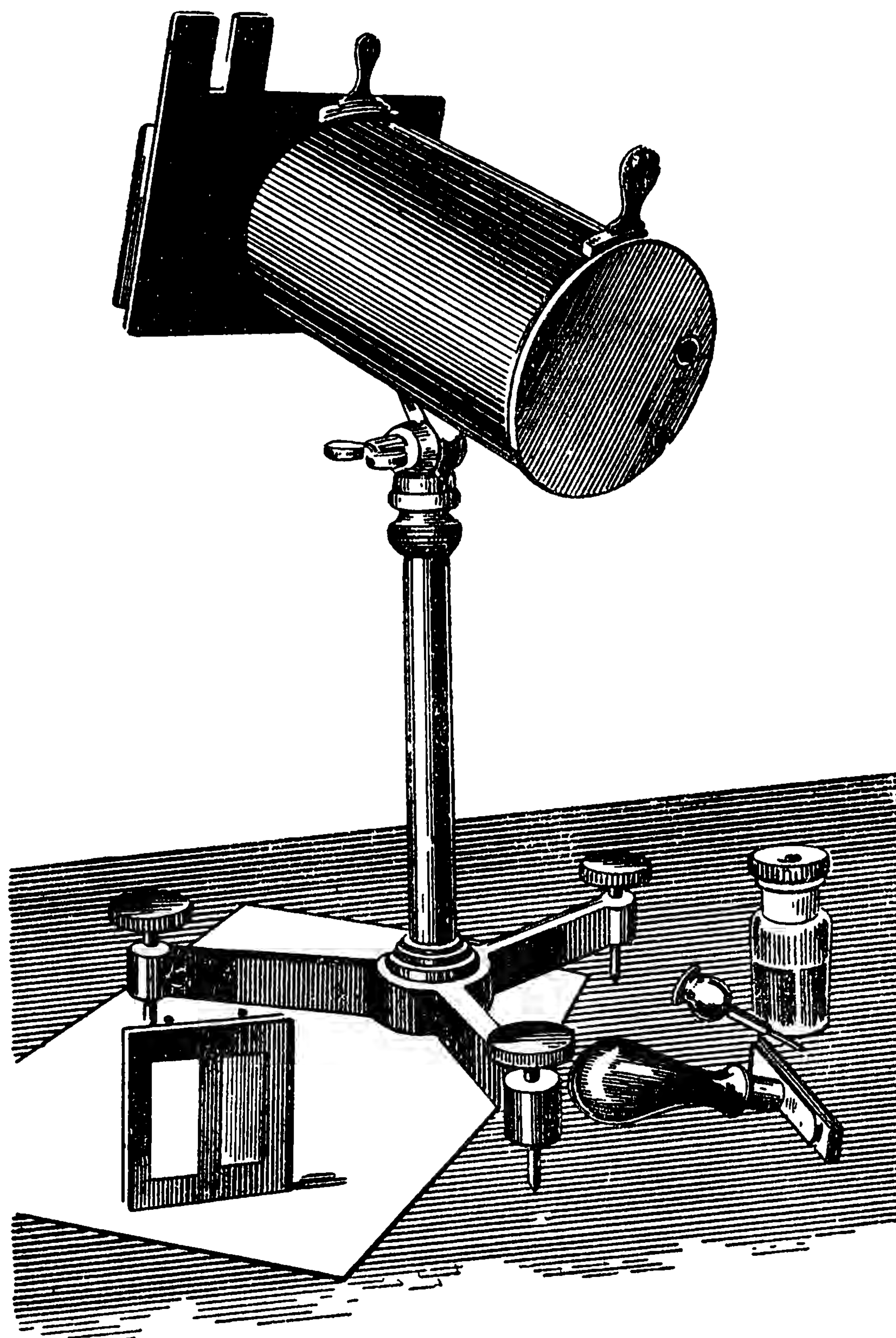


Рис. 15.

скания, пропускаемого этим раствором и сосудом, и, наконец, помещая только сосуд с растворителем, узнаем количество лучистой энергии, пропускаемое этими средами. Разность между этими двумя последними цифрами дает поглощение лучистой энергии хлорофиллом. Наконец, отношение этой величины к первоначально определенной дает ту долю лучистой

энергии солнца, которая поглощается хлорофиллом листа. Эти три операции могут быть сведены к двум: к определению действия непосредственной инсоляции и действия разности двух жидкостей в двойной ванночке. Вот придуманный мною аппарат, искусно выполненный в 1889 году Ф. Пелленом (рис. 15, 16).

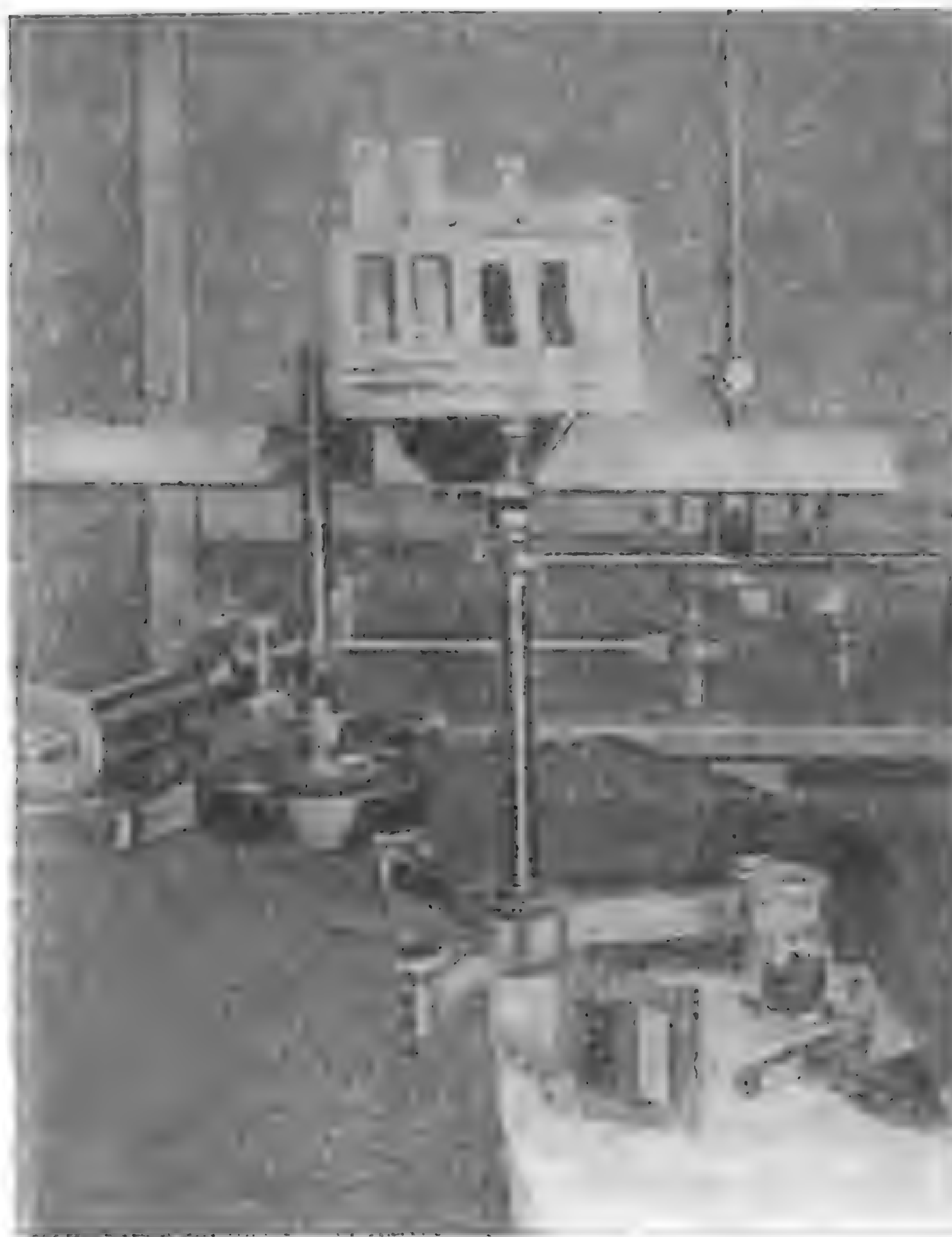


Рис. 16

На дне металлического цилиндра помещается только что описанная термобатарея, защищенная от колебаний температуры, которые могли бы быть вызваны движениями воздуха, целым рядом двойных щелей. В пазу, впереди наружной пары щелей движется двойная ванночка для растворов, заключенная в металлическую коробку, снабженную двумя поднимаю-

щимися вверх ставеньками. При определении непосредственной инсоляции одна из щелей закрывается металлической коробкой (понятно, с опущенной ставенькой), при определении поглощения хлорофиллом обе щели закрыты коробкой, понятно, с открытыми обеими ставеньками. Я назвал этот аппарат *фитоактинометром*, так как он дает нам меру для той доли лучистой энергии солнца, которая может быть использована растением в самой важной его функции. Вот ряд таких определений для одного и для трех листьев. Три — максимальное число листьев, которые можно накладывать с пользою для растения; свет, достигающий четвертого, как показал профессор Мюллер, уже лишен химического действия.[1]

ПОГЛОЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ХЛОРОФИЛЛОМ ЛИСТЬЕВ

Непосредственный солнечный свет	
Клен	%
1 лист (средняя из 32 опытов)	27
3 листа (» » 4 »)	31
Липа	
1 лист (средняя из 6 опытов)	29
3 листа (» » 3 »)	35
Дуб	
1 лист (» » 4 »)	23,5
Подорожник	
1 лист	23,4
Potamogeton lucens	
1 лист (средняя из 8 опытов)	20
Желтый свет	
Клен	
1 лист (средняя из 8 опытов)	13,8
Красный свет	
Клен	
1 лист	10

[1] Этот простой термоскопический прием всегда, где он применим, должно предпочитать более хлопотливой и менее надежной фотометрической оценке поглощения. Эта мысль высказана мною еще в 1849 году.

Прежде чем воспользоваться этими цифрами для обсуждения вопроса об *экономическом коэффициенте* и максимальном использовании химического действия солнечного света, нужно еще разрешить вторую из только что указанных задач,— определить зависимость химического действия от *напряжения* света. Очень часто и совершенно произвольно допускают, что фотохимическое действие пропорционально напряжению света, несмотря на то, что совершенно обратное доказано в случаях, где применялись самые точные методы: стоит напомнить блестящие исследования сэра Вильяма Абнея над фотографическими пластинками.

Влияние *напряжения* света на разложение угольного ангидрида листом было изучено Волковым, Ван Тигемом, Крейслером, Фаминцыным, Рейнке, но результаты их не согласны между собою и трудно сравнимы, вследствие чего я предпринял обстоятельное исследование вопроса. Приемы исследования, которые я употреблял, были следующие. В темной комнате при помощи большого гелиостата Фуко (с зеркалом в 80—40 см), и линзы (в 25 см диаметра) получается конус солнечных лучей (рис. 17, 18). По оси этого конуса располагается оптическая скамья в два метра длиною со скалой, разделенной на сантиметры. По этой скамье двигаются 5 подъемных столиков, а на каждом из них помещается один из вышеописанных аппаратов (плоских трубок, погруженных в ртуть), содержащих отрезки листьев равной площади. Расстояния на скамье избираются таким образом, чтобы относительное напряжение света выражалось числами 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, причем за единицу принималась непосредственная инсоляция (в нормальном направлении) на расстоянии 2—3 часов по ту и по другую сторону полудня, когда колебание ее (как видно из наблюдений, например, Крова) не особенно велико. Каждый опыт, благодаря чувствительности газометрического метода, уже ранее изложенного, длится не более 15—20 минут, так что можно было вперед рассчитывать на безоблачное солнце. Эта

форма опыта довольно хлопотлива, так как наблюдатель нуждается в особой темной комнате и таких ценных и громоздких аппаратах, как большой гелиостат и такая же оптическая скамья,



Рис. 17.

и потому позднее я придумал следующую форму простого переносного аппарата. На этот раз для измерения напряжения света я пользовался законом синусов. Металлическая платформа, вращающаяся вокруг вертикальной оси, может в то же время на шарньере быть установлена в направлении солнечного луча (для чего она снабжена диоптрами). С ней соеди-

няются шарньерами же четыре других маленьких платформочек (рис. 19, 20). Каждая из них получает по прибору с листьями. Эти четыре платформочки могут быть установлены под такими



Рис. 18.

углами, что листья будут получать свет в отношении 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$. Так как опыт длится, как уже сказано, не долее 15—20 минут, то наблюдатель может легко перемещать общую платформу так, чтобы первый лист находился всегда под прямым углом к падающему солнечному лучу. Понятно, здесь приходится принимать во внимание потерю света вследствие различного отражения и поглощения под различными углами

стенками сосудов, и по этой причине я предпочитаю в этом случае употреблять плоские трубки, специально изготовленные для меня известной фирмой Лейбольда в Кёльне. Они сделаны из пластинок зеркального стекла, спаянных особой эмалью. Образчик того же стекла исследуется фотометрически, будучи помещен на круге с делениями перед щелью спектрофотометра Д'Арсонваля.

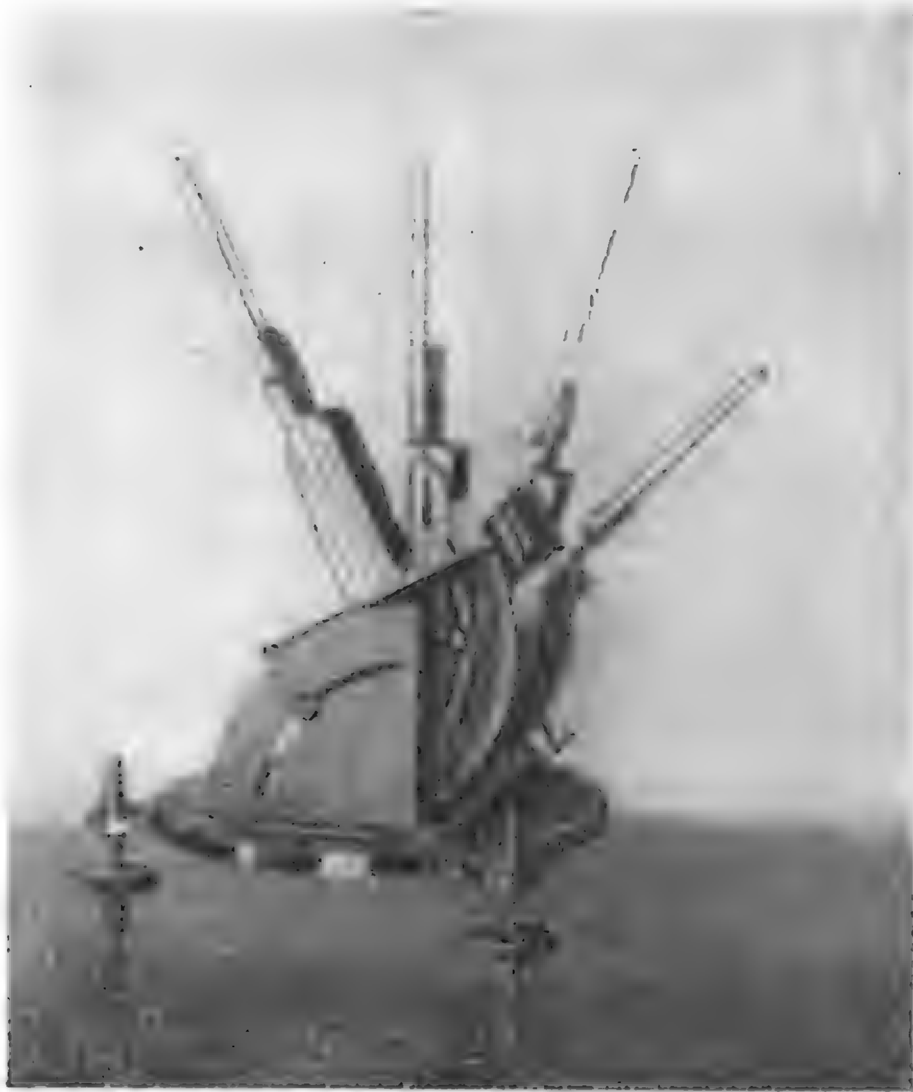


Рис. 19.

Третий прием, которым я пользовался в самом начале, заключался в применении моего микроэвдиометра к анализу пузырьков газа, выделяемых водяным растением, напр., побегами Elodea или, еще лучше, большими листьями Potamogeton lucens. Количества газа, выделяемого в одну минуту, вполне достаточно для измерения и анализа, так что в десять минут тот же объект может быть перемещен в различные точки на оптической скамье. Конечно, этот прием не имеет притязания на такую же степень точности, как первые два, но его недостатки лежат, как уже сказано выше, в самой природе водяного растения. С другой стороны, он имеет то несомненное преимущество, что применяется к одному и тому же объекту, так что все индивидуальные различия устраняются, а равно и промежуток времени так незначителен, что можно быть уверенным в постоянстве светового напряжения в течение всех четырех или пяти операций каждого опыта.

В целом, эти опыты, произведенные различными методами над различными растениями, дали сходные результаты, которые могут быть выражены в следующей кривой, где 100 означает количество угольного ангидрида, разложенное при освещении листа лучом, падающим в нормальном направлении около полудня. Рассмотрение этой кривой допускает следующие выводы.

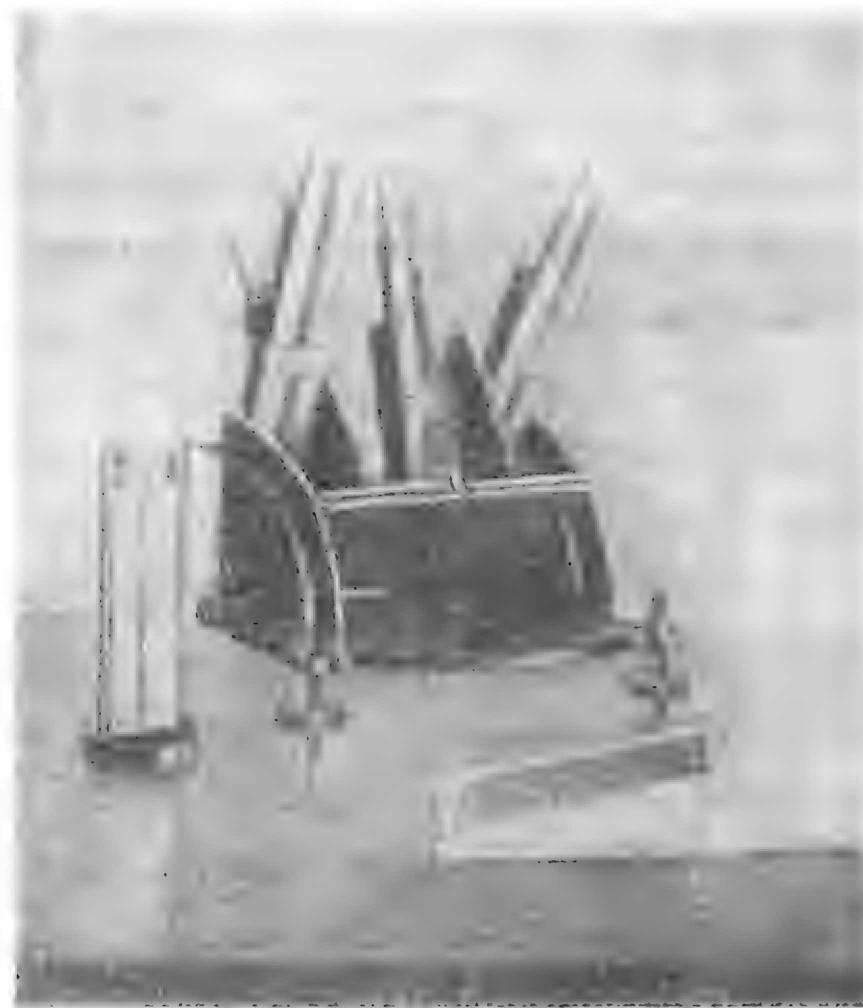


Рис. 20.

1. Если принять во внимание все степени напряжения, в пределах которых производились опыты, то о простой пропорциональности не может быть речи. Должно добавить, что Рейнке производил опыты и при более значительных напряжениях. Хотя он производил эти опыты при помощи мало надежного приема *счета* пузырьков, но в этих широких чертах результаты его опытов могут заслуживать доверие. Подвергая свою веточку Elodea действию света сходящегося конуса лучей, он мог определить влияние интенсивностей, *превышающих* непосредственную инсоляцию в 2, 4, 8, 16 раз, и не мог заметить никакого повышения химического действия: кривая переходила в линию, параллельную абсциссе.

2. Максимальное действие достигается при напряжении, приблизительно равном *половине* напряжения солнечного луча, непосредственно падающего на лист в нормальном направлении.

3. До известной степени напряжения, действие можно считать пропорциональным ему. Пройдя известную точку (ука-

занную в рис. 21), дальнейшее возрастание напряжения не сопровождается приростом химического действия.

Мы должны теперь попытаться найти объяснение для общей формы этой кривой. Но, прежде чем перейти к ее обсуждению, еще нужно коснуться одного соображения касательно другой формы работы, производимой лучистой энергией в листе. Визнер поставил вне сомнения, что значительная часть испарения воды, происходящего в зеленом листе, совершается насчет лучистой энергии, поглощаемой хлорофиллом. Эту долю общего процесса было предложено обозначить термином *хлоровапоризация*. Мой старый друг, покойный профессор Дегерен, открыл весьма любопытный факт, позднее подтвержденный профессором Зорауером и особенно Жюмелем — именно, что две важнейшие функции листа — усвоение углерода и хлоровапоризация — в известном смысле взаимно-дополнительны; испарение воды падает в присутствии угольного ангидрида. Эта связь представлялась бы совершенно естественной — раз тот же источник энергии распределяется между двумя процессами,— если б мы не знали, как велик избыток солнечной энергии, выпадающий на поверхность листа. Но теперь, когда мы знаем ту долю полной солнечной радиации, которая поглощается листом, мы можем попытаться в общих чертах сравнить это количество лучистой энергии, поглощаемой листом, с тем, которое затрачивается на двойную работу: на химический процесс усвоения углерода и на физический процесс хлоровапоризации.

Мы видели, что поглощение хлорофиллом одного листа достигает 27% падающей на него лучистой энергии (наклонная черта) солнца. Мы видели, что максимальный экономический коэффициент при усвоении углерода в нашем случае достигал (нижняя горизонтальная черта) 3.3%. Но сверх этого процесса в листе совершается физический процесс хлоровапоризации. В 1894 году я сделал ряд определений количества воды, испаряемой листьями при тех же условиях, т. е. в тех же плоских трубках над ртутью. При данных условиях опыта — испарении

в замкнутых сосудах и насыщенной атмосфере — можно быть уверенным, что большая часть явления должна быть приписана

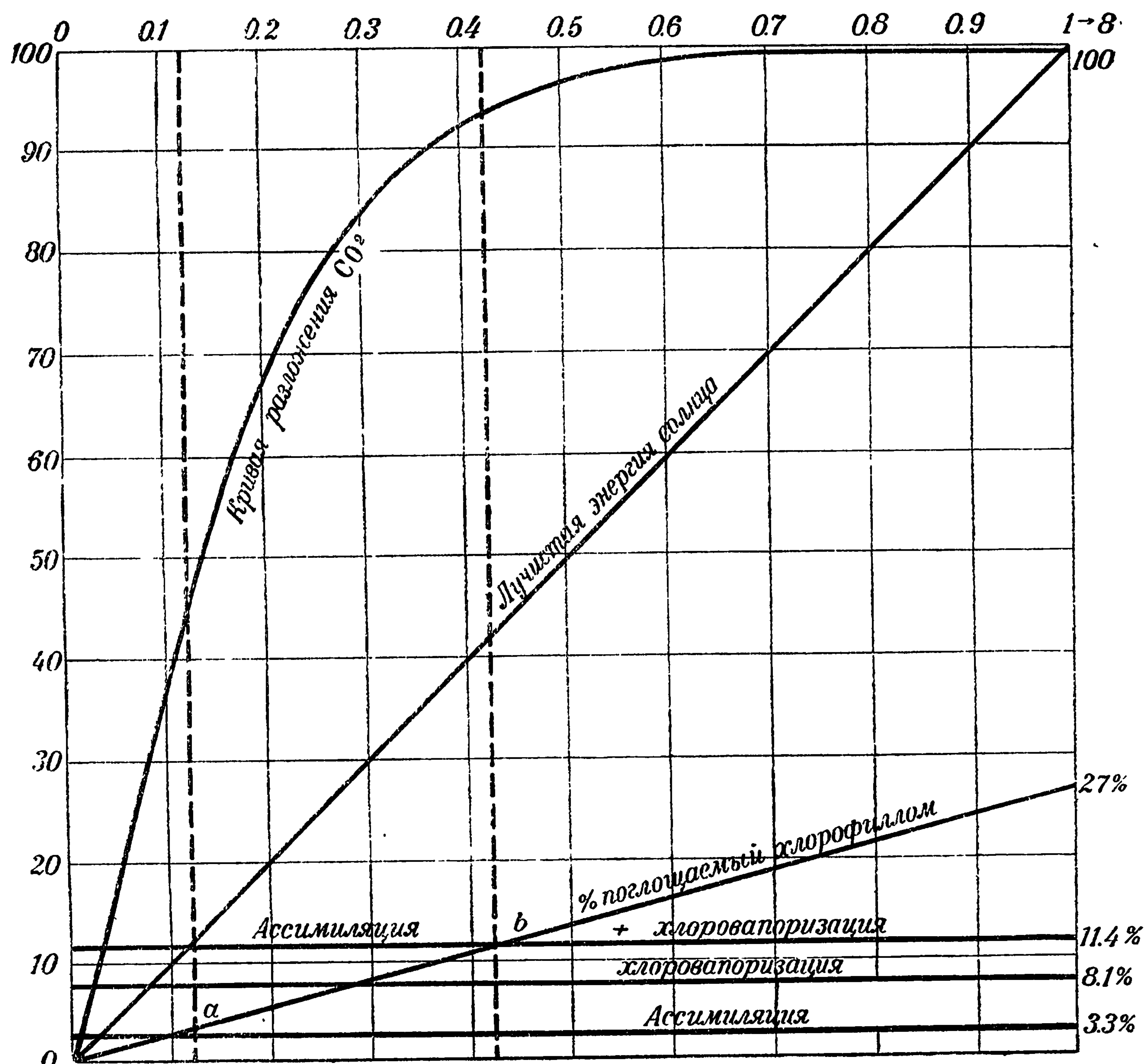


Рис. 21.

хлоровапоризации.[1] Черта (вторая горизонтальная) изображает затрату лучистой энергии на процесс хлоровапоризации (выраженную, как и в предшествовавших случаях, в процен-

[1] Позднее я сделал несколько сравнительных опытов над зеленой и белой частью того же листа пестролистой *Aspidistra*, но количества данных еще недостаточно для правильного вывода.

тах прямой инсоляции). Эта затрата в средних цифрах достигает 8%. Наконец, третья черта представляет сумму затрат на работу, происходящую в листе, как химическую, так и физическую, приблизительно = 11%. Эта черта в известной точке (б) пересечет линию доступной листу, поглощаемой им энергии. Начиная с этой точки (влево), вся доступная листу энергия будет превращаться в работу и, следовательно, 2 процесса, химический и физический, будут находиться в антагонизме, как это обнаружено Дегереном. Пройдя эту точку (влево), а конечно, и ранее ее, так как ни в каком случае экономический коэффициент не может достигать 100%, лист уже не будет получать лучистую энергию в количестве, достаточном для поддержания обоих процессов при их максимуме, и кривая химического процесса, которую мы рассматриваем, должна быстро падать. В этой второй точке (а), доступной хлорофиллу, энергии уже не будет достаточно для поддержания при его максимуме даже одного процесса усвоения углерода. Этих соображений, я полагаю, достаточно для объяснения первой (левой) половины нашей кривой.

Я могу добавить, что эти результаты вполне согласны с позднейшими превосходными опытами Г. Брауна и Ескомба. При непосредственном солнечном свете экономический коэффициент у них был 27%. Когда напряжение падало до *одной десятой*, экономический коэффициент возрос до 95%, или почти вся доступная энергия превращалась в работу.

Следующий вопрос, который нам предстоит разъяснить,— причина той формы, которую кривая принимает в своей верхней части,— представляется более загадочным. Конечно, простейшее объяснение для такого химического процесса заключалось бы в предположении, что, начиная с известной точки, лучистая энергия, падающая на лист, будет в избытке. Но можно ли допустить, что солнечная энергия может быть в избытке, помня, какой скромной цифрой выражается экономический коэффициент химической работы?

Очень часто можно слышать мнение, что химический процесс, совершающийся в зеленом листе, представляется парадоксальным. В самом деле, он совершается при обыкновенной температуре, между тем как химическое явление, лежащее в его основе — диссоциация угольного ангидрида — может быть

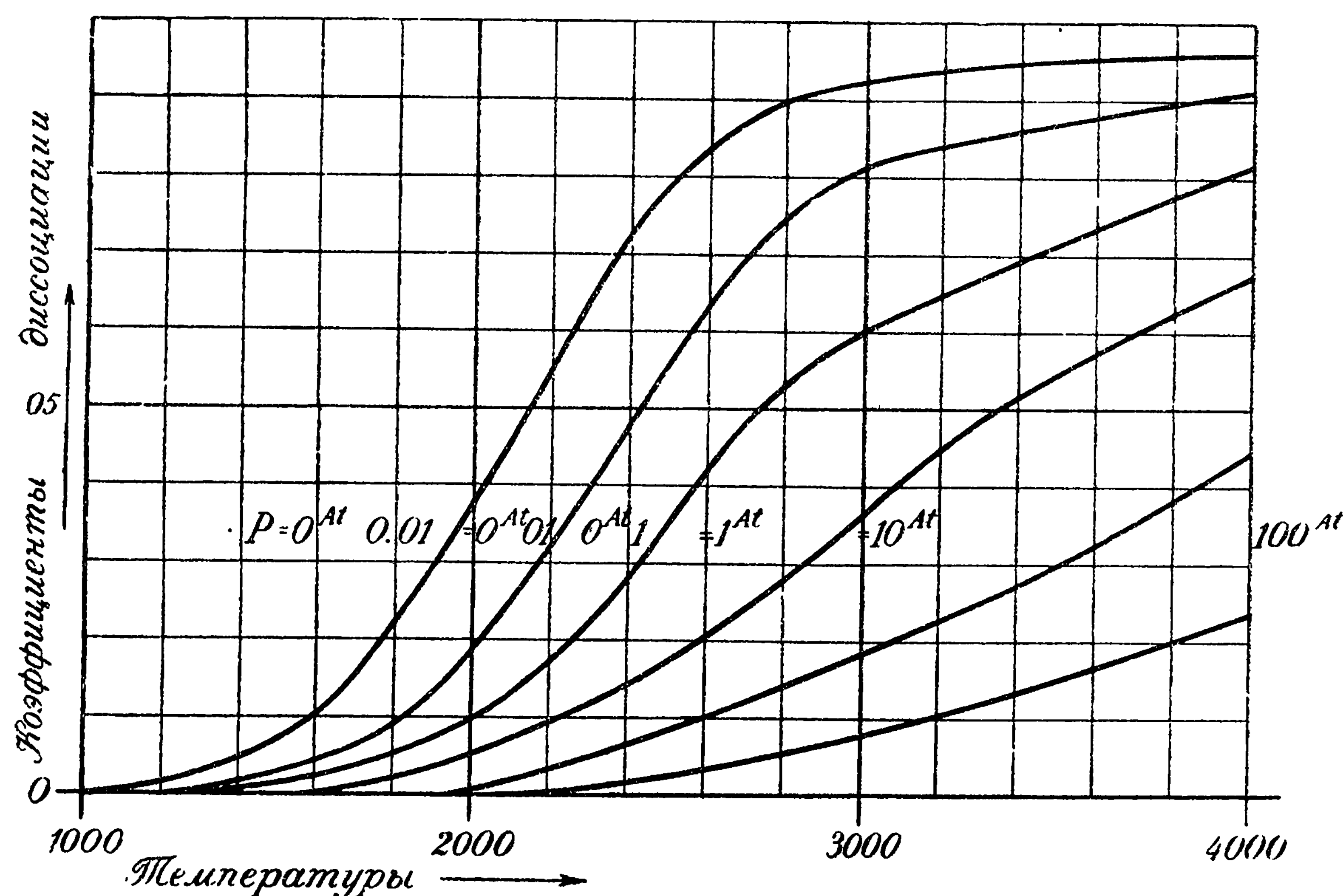


Рис. 22.

воспроизведено в наших лабораториях лишь при очень высоких температурах, измеряющихся тысячами градусов. Вот диаграмма Лешателье (рис. 22), изображающая ход диссоциации угольного ангидрида в зависимости от температуры и давления. Но этот парадокс, конечно, только кажущийся, и, если я не ошибаюсь, еще граф Румфорд показал, каким образом то, что он называл «химическим свойством света», может быть сведено к действию вызываемой им высокой температуры. В его мемуаре «*Исследование химических свойств, приписываемых свету*» мы встречаем следующее место: «теплота, вы-

зываемая поглощением лучей света, должна по необходимости существовать, по крайней мере в *момент ее появления,* в почти бесконечно *малых пространствах*, а отсюда вытекает, что только в телах, которые *немыслимо малы*, может она вызывать *прочные действия* (durables effects), сколько-нибудь соответствующие ее высокому напряжению». Еще ранее, в мемуаре «*О распространении тепла в жидкостях*», граф Румфорд применяет этот принцип *малых пространств*, т. е. малой сферы действия, которой ограничивается фотохимическое действие, и к занимающему нас случаю. Вот его слова: «не может ли наша гипотеза относительно высокого напряжения тепла, развивающегося там, где свет задерживается... помочь нам в объяснении того образования чистого воздуха (pure air), которое обнаруживается в великолепных опытах д-ра Ингенгуза, когда зеленые листья живых растений, погруженные в воду, подвергались действию солнечных лучей».

Под *малыми пространствами* граф Румфорд, вероятно, разумел пространства молекулярные, но мне представлялось что было бы интересно проверить его гипотезу и более грубым, приблизительным путем. Теперь, когда мы уверены, что явление совершается в хлоропласте и зависит только от тех лучей, которые поглощаются хлорофиллом, мы можем попытаться получить приблизительное представление о сфере действия солнечных лучей и об интенсивности этого действия. Необходимые данные для этого вычисления будут следующие: общее количество лучистой энергии, измеряемое пиргелиометром; общая площадь, ограниченная кривою Ланглея, показывающего распределение энергии в спектре; часть этой площади, соответствующая спектру поглощения отдельного хлоропласта, и, наконец, толщина слоя красящего вещества в этом хлоропласте.

Общее количество солнечной энергии установлено довольно согласными данными Крова, Ланглея и Савельева. Мне также приходилось делать наблюдения с переносным актинометром

Крова. Я полагаю, мы будем всего ближе к истине, приняв цифру 1,3 калории на квадратный сантиметр в минуту.

Часть энергии соответствующая поглощению отдельным хлоропластом, была определена следующим образом. Сорби-Браунинговский микроспектроскоп был применен как простой калориметр (т. е. без призмы) для получения раствора хлорофилла той же концентрации, как в хлоропласте.[1] Этот раствор был исследован при помощи спектрофотометра Д'Арсонваля.

Касательно последнего пункта — толщины слоя красящего вещества — мне приходится стать в разрез с ходячими идеями, распространенными между физиологами. Обыкновенно принимают, что зеленое вещество распределено во всем протопласте. Но уже много лет тому назад Негели при помощи следующего простого наблюдения показал, что оно ограничивается его поверхностью. Если на микроскопический препарат, заключающий хлорофилловые зерна (Негели наблюдал зерна Clivia и Aspidistra), подействовать водой, то они лопаются, и зеленая оболочка, или шелуха, принимает чаще всего форму двух створок. Я неоднократно повторял наблюдение Негели над хлоропластами Fajus, более удобными вследствие их значительных размеров. Освобожденные из клеточек хлоропласты рассматриваются в сахарном растворе такой концентрации, в которой они нисколько не изменяются. При разбавлении раствора водой наступает момент, когда зерна лопаются. Прибавляя в этот момент раствора медного купороса, можно задержать их в этой стадии, и если еще прибавить эозина, то получаются очень изящные препараты, напоминающие почку розового мака с ее двустворчатой чашечкой. Другой способ для изучения распределения красящего вещества в зерне заключается в наблюдении его в красном свете; тогда можно заметить, что так

[1] В действительности был взят раствор половинной концентрации· причина, почему я так поступил, выяснится ниже, когда будет речь о строении хлоропласта.

называемые grana выступают в виде черных точек, распределяющихся тонким слоем на поверхности.

Если мы желаем примерно оценить толщину этой цветной пленки — строгое измерение, конечно, здесь невозможно,— то получаем величину приблизительно в $^1/_{10}$ микрона.

Вооружившись всеми этими необходимыми данными, мы можем, наконец, получить приблизительное представление о температуре, которая могла бы быть достигнута в этом слое хлорофиллового пигмента, предполагая, конечно, что вся эта лучистая энергия могла бы накопляться без обратного излучения. Мы получаем поразительную цифру — около 6000°!

Я знаю из собственного опыта, как трудно свыкнуться с такими цифрами. Но некоторые аналогии нам в этом помогут. Когда мы ударяем сталью о кремень в отвесном направлении, мы, конечно, достигаем только незначительного повышения температуры, но, если искусным ударом по касательной мы сосредоточиваем всю затраченную энергию на небольшом отскакивающем осколке, мы доводим его до белого каления. Или остановимся на аналогии, более близкой к нашему случаю при помощи собирательного стекла мы получаем на солнце: температуры в тысячи градусов, как это было недавно осуществлено профессором Церасским. В этом случае мы концентрируем солнечный свет в плоскости, вертикальной к направлению луча, но мы можем сделать то же самое и по третьей оси, т. е. в направлении самого луча, уменьшая толщину поглощающего свет слоя. Было вычислено, что платиновая (вычерненная) пластинка не толще $^1/_{500}$ миллиметра, будучи выставлена на солнечный свет, могла бы расплавиться — понятно, все в том же предположении, что могло бы быть устранено обратное излучение. Да и на практике увеличение чувствительности современных термоскопических приборов (болометра, термоэлектрического столбика Рубенса и пр.) основано на уменьшении толщины воспринимающих лучи металлических частей. Мне кажется, что и на этот раз можно повторить остроумные

слова Г. Брауна: мы все более и более убеждаемся, что растение обладает гораздо более основательными сведениями по физике, чем мы готовы допустить.

Конечно, об этих высоких температурах, как таковых, не может быть и речи, и если я настаиваю на этом термометрическом сравнении для разъяснения действия той лучистой энергии, которая накопляется в такое короткое время в таком ничтожном пространстве, то лишь с целью показать несостоятельность выше приведенного парадокса и указать на аналогию с процессом диссоциации, так превосходно изученным химиками. В действительности, мы, вероятно, имеем здесь дело с процессом, обратным тому, который Видеман назвал *хемилюминесценцией*, т. е. с прямым переходом лучистой энергии в химическую работу без промежуточной, хотя бы скоропреходящей стадии высокой температуры. Таким путем легко объяснился бы кумулирующий, интегрирующий характер фотохимических процессов. В отсутствии угольного ангидрида лучистая энергия, не превращающаяся непосредственно в химическую работу, проявляется как теплота, ускоряющая процесс хлоровапоризации.

Возвращаясь к нашей кривой, изображающей связь между напряжением света и количествами диссоциированного в листе угольного ангидрида, и сравнивая ее с диссоциационной кривой Лешателье, мы, может быть, вправе приписать их бросающееся в глаза сходство той же причине. Не можем ли мы допустить, что в известной точке, где кривая принимает горизонтальное направление, температура хлорофилловой пленки — позволяю себе ради аналогии еще раз прибегнуть к этому термину — напряжение энергии, накопляющейся в таком малом пространстве, так высоко, что диссоциация угольного ангидрида (при данном парциальном давлении) будет *полная*. Понятно, что, пройдя эту точку, никакое дальнейшее повышение температуры не будет уже оказывать влияния на химический процесс, и кривая получит направление, параллельное абсциссе.

Конечно, я не утверждаю, что обе цифры вполне совпадают (у меня половина 6000°, т. е. приблизительно 3000°), но во всяком случае это величины одного порядка. Как бы то ни было, мы должны допустить, что в тонкой пленке хлорофилла, в которой осуществляются условия, тождественные с действием очень высокой температуры, между тем как окружающая среда остается холодной, частицы угольного ангидрида находятся в состоянии, особенно благоприятном для их диссоциации, очень сходном с тем, которое наблюдается в классической tube chaud et froid Генри Сент-Клер Девиля.

Эти соображения касательно крайней тонины слоя хлорофилловой пленки приводят и к иного рода соображениям, значение которых нельзя не отметить. Мы в первый раз получаем хотя бы приблизительное представление о степени концентрации красящего вещества в хлоропласте. Если принять за единицу концентрацию раствора, представляющего в толщине 1 сантиметр, типическую изумрудно-зеленую окраску и характеристический спектр (с 4 полосами), то придем к довольно неожиданному заключению, что в естественном состоянии в хлоропласте концентрация пигмента будет приблизительно в 4000 раз более. Практически это будет почти твердое состояние, и поверхностный цвет его будет почти черный. Из этого факта можно сделать два немаловажные вывода. Во-первых, получается объяснение для почти полного отсутствия флуоресценции, которым отличаются живые зеленые органы. Из обстоятельного исследования Вальтера вытекает,что флуоресценция быстро падает с концентрацией раствора. Если принять во внимание состояние концентрации хлорофилла в хлоропласте, то можно себе объяснить это отсутствие флуоресценции и в то же время должно допустить, что химический процесс, совершающийся в хлорофилле, будет тем более энергичен, чем слабее флуоресценция, так как известен факт, что растворы хлорофилла, представляющие наименьшую флуоресценцию, всего легче обесцвечиваются при выставлении на свет.

Другой вывод, пожалуй, еще более существен. Неоднократно повторялась мысль, что хлорофилл, извлеченный из растения, утрачивает свою способность разлагать угольный ангидрид, в подтверждение чего приводились опыты, в которых раствор хлорофилла, выставленный на свет в соприкосновении с угольным ангидридом, не разлагал его. Теперь мы видим, что все эти опыты лишены убедительной силы, так как условия совсем не те, что в хлоропласте. Все равно, как если бы мы желали определить поглощение света сажей и взяли для этого не чистую сажу, а смесь одной ее части и 4000 частей окиси цинка. Хлорофилл, собственно говоря, почти черное тело, и если мы его называем зеленым, то приблизительно в том же смысле, в каком мы, пожалуй, могли бы назвать сажу желто-бурой, так как в тонком слое она действительно такого цвета. В растворах хлорофилла, которые употреблялись до сих пор, то же количество энергии, которое в хлоропласте сосредоточено в тонкой пленке, распределено в слое жидкости, толщина которого в тысячи раз более. Я не хочу этим сказать, что опыт с хлорофиллом в состоянии большой концентрации *должен* дать положительные результаты, но он *может* их дать, и во всяком случае обратное не доказано. По крайней мере, я не вижу, почему хлорофилл сохраняет свое действие как сенсибилизатор на AgCl и AgBr, а должен утратить это свойство по отношению к угольному ангидриду,— различие двух явлений, конечно, только количественное, а не качественное.

Прежде чем покинуть обсуждение этой кривой, я желал бы указать на некоторые выводы, которые можно сделать из этого закона зависимости усвоения углерода от напряжения света в применении к известным фактам, касающимся географического распределения и биологических особенностей растений. Хорошо известен факт, что в высших широтах растение требует более короткого промежутка времени для достижения известных стадий развития, чем в низших широтах. Это обыкновенно приписывают большей продолжительности дня. Но и солнце

стоит тогда не так высоко, и до той поры пока предполагалось, что действие света пропорционально его напряжению, это объяснение было очевидно неудовлетворительно. Теперь, когда мы знаем, что только приблизительно половина непосредственной полуденной инсоляции может быть использована, мы можем легче понять, что более долгий период при менее значительной высоте солнца оказывается более полезным, чем период более короткий при более высоком стоянии солнца.

Мы вправе сделать еще шаг далее и притти к заключению, что значительное напряжение солнечных лучей около полудня может быть не только бесполезно для растения в отношении усвоения углерода, но прямо вредно, как вызывающее усиленное испарение, которое может даже грозить самому существованию растения в периоды засух. Ботаникам хорошо знакомы самые разнообразные формы и движения листьев, начиная с пушистости верхней поверхности и оканчивая вертикальным положением (ребром к зениту) пластины, постоянным, как у растения-компаса, или периодическим (около полудня), как у многочисленных растений, представляющих явления дневного сна. Все эти особенности справедливо рассматриваются как приспособления, сводящие к минимуму процесс испарения. Но можно было бы подумать, что эта экономия в испарении не может быть осуществлена без соответственного ущерба для усвоения углерода. Избегая жажды, растение будет страдать от голода. Теперь мы можем быть уверены, что на деле этого не будет, так как уже половины полуденной инсоляции достаточно для поддержания максимального питания. Здесь мы имеем дневную кривую инсоляции в калориях (по Крову), переведенную на горизонтальную поверхность обыкновенного листа, и двойную кривую, изображающую количество лучистой энергии, доступное листу растения-компаса с его пластинами, расположенными в плоскости меридиана, ребром кверху (рис. 23). Если мы припомним вновь, что только половина энергии, доставляемая солнцем в полдень, может быть исполь-

зована в процессе усвоения углерода, то легко усмотрим, что площади An′n′ C для горизонтального и A D D C для вертикального листа мало одна от другой отличаются, между тем как в этом последнем случае растение будет ограждено от зловредного действия большого избытка лучистой энергии в часы,

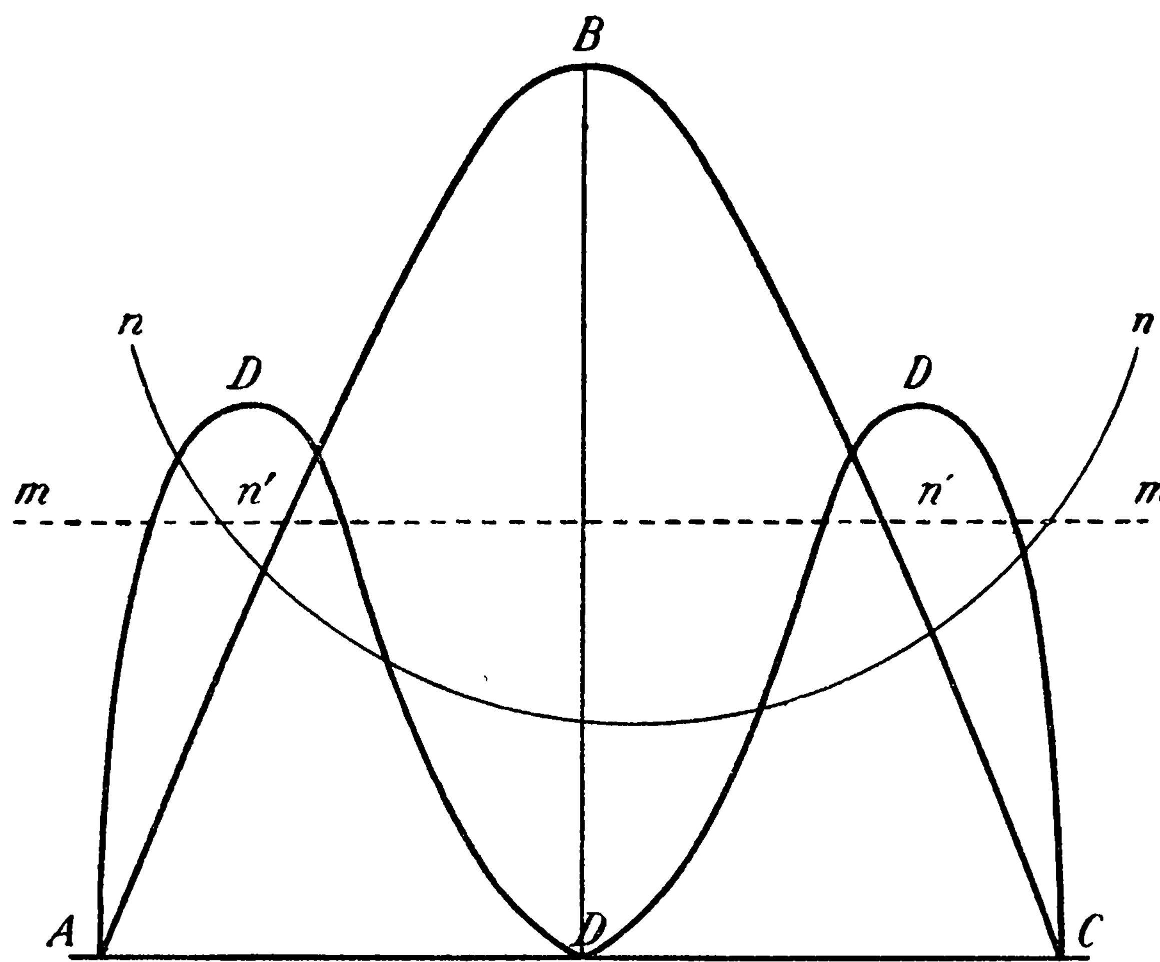


Рис. 23.

близкие к полудню, когда влажность атмосферы (кривая nn) наименьшая и, следовательно, испарение наиболее сильное.

Те же соображения применимы и к листьям, имеющим белое опушение на верхней поверхности, которое можно уподобить матовому стеклу.[1] До тех пор, пока этот экран не ослабляет напряжения света ниже его половины около полудня (при нормальном направлении луча), растение будет в выгоде по отношению к испарению — без ущерба для питания.

[1] Опушение нижней поверхности служит только как средство для задержания движений воздуха, а может быть, как «фон», отражающий обратно лучи света для их вторичной химической утилизации.

Мы можем этим ограничить те выводы, которые вытекают из рассмотрения оптических свойств хлорофилла. В противность Саксу, мы вправе сказать, что все, что нам известно о функции хлорофилла, может быть выведено из его оптических свойств, и этот вывод вполне понятен, так как процесс усвоения углерода — в то же время процесс *усвоения солнечного света*.[1] Таким образом функция хлорофилла может быть по праву названа *космической функцией* растения. Профессор Больцман в замечательной речи, произнесенной в Венской академии в 1886 году, выразил эту мысль в очень красноречивой форме:«Всеобщая борьба за существование, охватывающая весь органический мир, не есть борьба за вещество: химические элементы органического вещества находятся в избытке в воздухе, воде и земле; это также не борьба за энергию,— она, к сожалению, в непревратимой форме, в форме теплоты, щедро рассеяна во всех телах; это борьба за энтропию, становящуюся доступной при переходе энергии от пылающего солнца к холодной земле. Для возможного использования этого перехода развертывает растение неизмеримую поверхность своих листьев и вынуждает солнечную энергию, прежде чем она упадет до уровня температуры земли, вызывать какими-то, ближе не исследованными путями, химические синтезы, еще неведомые нашим лабораториям. Продукты этой-то химической кухни и составляют предмет борьбы в животном царстве». С такой точки зрения исследованный нами вопрос о космической роли растения является какою-то пограничною областью между двумя великими научными обобщениями прошлого века, связанными с именами Лорда Кельвина и Чарльза Дарвина — между учением о рассеянии энергии и учением о борьбе за существование. С чувством глубокого благоговения пред па-

---

[1] *Об усвоении света растением* (1875) — так озаглавлена моя первая русская работа; совсем недавно я с удовольствием встретил это выражение в Naturphilosophie проф. Оствальда.

мятью великого ученого вспоминаю я слова, много лет тому назад слышанные в Дауне из уст самого покойного Дарвина: «Хлорофилл это, быть может, самое интересное из органических веществ».

Если, таким образом, мы вправе считать, что наши современные представления о космической природе процесса, совершающегося в зеленом растении, являются плодом блестящих завоеваний современной физики, то, с другой стороны, только справедливо попытаться найти первых пионеров этой важной научной идеи о связи между растительным миром и солнцем, проявляющейся в хлорофилловой функции. Прежде всего нужно отдать полную справедливость Сенебье, вполне проникнувшемуся идеей об этой удивительной связи. Но еще ранее этого заключения мы должны воздать должное одной научной теории, которая слишком часто упоминается только как пример аберрации человеческого ума. Я разумею теорию флогистона. Конечно, можно было ожидать, что теория, имевшая своими адептами таких ученых, как Пристли, как Кавендиш, не могла быть просто признана абсурдом, и мы действительно знаем, что Гельмгольц и особенно Одлинг сделали попытку ее реабилитации. Для того, чтобы схватить истинный смысл этой знаменитой теории, мы должны только подставить вместо этого злополучного слова «флогистон» более привычное нам выражение — потенциальная энергия, и мы увидим, как близки были основные представления защитников флогистона о занимающем нас явлении к нашим современным понятиям. Стóит остановиться на следующих словах Сенебье: «Мне кажется, что я вижу, как частицы света соединяются с телами; я хотел бы думать, что этот свет вновь будет поражать мои взоры в пламени горючих веществ; мне кажется, что он образует эти смолы, с которыми имеет так много сродства, эти маслянистые вещества, насыщенные его теплотой, его пламенем, эти спиртовые частицы семян и плодов, пропитанные его огнем... Наконец, этот флогистон, который солнце отлагает

в растении, не будет ли он источником того, который обращается в других царствах природы?»

Когда ботаник-турист, посещающий женевский ботанический сад, останавливается перед рядом мраморных бюстов знаменитых ботаников, уроженцев этого города, с Сенебье на первом плане, он может быть уверен, что стоит у колыбели физиологической ботаники XIX века, точно так же, как в наши дни, если б он хотел узнать, откуда несомненно начнется современное движение зарождающегося столетия, он должен направить свои шаги в другой ботанический сад, поближе к нам, [1] и приветствовать в Джодрельской лаборатории новую точку отправления по пути, впервые проложенному Сенебье и Соссюром.

В нашем историческом обзоре мы должны, однако, отступить еще на одно столетие. Сенебье, с его обычной правдивостью, упоминает автора, которому он сам обязан своими основными представлениями о связи между светом и веществом. Мы найдем эту мысль в книге, «написанной», как нас уведомляет сам автор, «по желанию некоторых членов королевского общества и читанной в его заседаниях». Мы должны открыть «третью книгу» Оптики и прочесть «Вопрос 30», начинающийся словами: «Не могут ли грубые тела и свет взаимно превращаться и не могут ли тела получать значительную часть своей деятельности от частиц света, вошедших в их состав? Потому что все горючие тела при нагревании выделяют свет до тех пор, пока остаются достаточно нагретыми, и, наоборот, свет задерживается телами, когда ударяется о их частицы, как это было выше показано». Несколькими строками далее мы читаем снова «Превращение тел в свет и света в тела совершенно согласно с общим порядком природы, которая, повидимому, любит (is delighted) превращения», и, наконец, вслед за перечислением примеров таких превра-

[1] Ботанический сад Кью близ Лондона.

щений, следует заключение — «в ряду таких разнообразных и странных превращений почему бы природе не превращать тела в свет и свет в тела?»

Если, по прочтении этих строк, мы обратимся к микроспектру и увидим, как хлорофилловые зерна, сохраняя свой обычный свет и прозрачность в желтых и зеленых частях спектра, становятся черными, как угольки, при перемещении их в красную или синюю часть спектра, то можем быть уверены, после всего, что было ранее сказано, что мы действительно присутствуем здесь при таинственном процессе «превращения света в тела», благодаря которому этот ничтожный черный комочек вещества является истинным звеном, соединяющим величественный взрыв энергии в нашем центральном светиле со всеми многообразными проявлениями жизни на обитаемой нами планете.

Призма более чем два века тому назад раскрыла природу солнечного луча. Призма же, у нас на глазах, в руках нашего председателя, [1] сэра Нормана Локиера и других искусных исследователей, продолжает раскрывать тайну происхождения этого луча, и я убежден, что опять та же призма раскроет и конечную судьбу этого луча здесь на земле — его «превращение в тела».

Таким образом, мы приходим к окончательному выводу, что в этой книге «*Оптики*» мы встречаем не только первую и самую широкую постановку занимающей нас задачи, но и верное средство для ее разрешения.

Не гадал Джонатан Свифт, когда строчил свою ядовитую сатиру на королевское общество, [2] что то, что ему представлялось очевидным бредом сумасшедшего, оказалось пророческим откровением бессмертного гения Ньютона.

---

[1] Сэра Вильяма Гуггинса, справедливо считающегося пионером астрономической спектроскопии.

[2] Известно, что под академией в Лагадо Свифт разумел королевское общество.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Профессор А. А. НИЧИПОРОВИЧ

ТИМИРЯЗЕВ—ОСНОВОПОЛОЖНИК СОВРЕМЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ МЕХАНИЗМА ФОТОСИНТЕЗА

Редкие люди сочетают в себе столь разнообразные и блестящие качества, какими обладал К. А. Тимирязев.

Блестящий экспериментатор и лектор, непревзойденный популяризатор научных знаний, страстный борец за демократию, за прогресс в общественной жизни и в науке, он обладал вместе с тем громадной эрудицией в самых разнообразных областях биологии. Он прекрасно знал и блестяще излагал историю развития естествознания. В 1864—1865 гг. в возрасте 21—22 лет, будучи еще вольнослушателем университета, он впервые в России обстоятельно и блестяще изложил содержание незадолго до того опубликованного учения об эволюции живых форм великого Чарлза Дарвина. После этого в течение полувека К. А. Тимирязев настойчиво и талантливо пропагандировал и развивал дарвинизм в России, создав ему здесь вторую родину.

Ученик Буссенго, он был основоположником и настойчивым пропагандистом развития в России опытной агрономии, агрохимии и широкого применения вегетационного метода.

Он один из первых наших ученых обстоятельно оценил состояние вопроса о влиянии на растения засухи и наметил ряд мероприятий по борьбе с этим бедствием.

Он — основоположник физиологии растений в России, создавший этой отрасли науки широкую популярность своей бессмертной книгой «Жизнь растений».

Проявляя живейший интерес к проблеме эволюции живых форм, К. А. Тимирязев уделял особенное внимание тому, что является самым главным в этой области: его глубоко волновал вопрос о возможности произвольного изменения наследственных качеств организмов, о возможности «лепить органические формы» по усмотрению экспериментатора и практика-селекционера.

Если учесть только то из деятельности К. А. Тимирязева, что перечислено выше, то и это должно было бы создать ему неувядаемую славу во многих поколениях потомков.

Однако это только часть многообразной и блестящей деятельности этого замечательного человека.

Славу ученого с мировым именем он стяжал себе работами по изучению «самого важного физиологического явления»[1] — фотосинтеза.

Важнейшие из этих работ и выступлений К. А. помещены в настоящем сборнике.

Первая экспериментальная работа по фотосинтезу была выполнена К. А. Тимирязевым в 1867 году, последняя — в 1895 году.

Наиболее важные публичные выступления К. А. по этому вопросу относятся к семидесятым — девяностым годам прошлого столетия и к началу нашего века, когда он прочитал знаменитую крунианскую лекцию (1903 г.). Но К. А. Тимирязев не переставал проявлять самый острый интерес к фотосинтезу до самых последних дней своей жизни. Так в год смерти (1920 г.) он подготавливал для издания сборник работ, выступлений и лекций, который был издан в 1923 году под названием «Солн-

[1] «Солнце, жизнь и хлорофилл». Посвящение. (Сочинения, Сельхозгиз 1937, т. I, стр. 173).



КЛИМЕНТ АРКАДЬЕВИЧ
ТИМИРЯЗЕВ

це, жизнь и хлорофилл» (Государственное издательство, 1923 г. М.— Л.).

К этому сборнику уже больной К. А. Тимирязев писал предисловие, которое он не успел закончить, оставив работу над ним всего за 8 дней до смерти.

Это предисловие имеет целью подвести итоги работ по фотосинтезу за период почти в 150 лет.

Содержание предисловия ярко свидетельствует о постоянстве и глубине интересов К. А. Тимирязева: в этом предисловии он пишет о предмете в целом и о своих собственных исследованиях с таким же жаром, с такой же эрудицией, с такой же убежденностью в важности вопроса, как он говорил и писал за 20—50 лет до этого в период своей наиболее активной экспериментальной работы.

Сейчас экспериментальные работы К. А. Тимирязева имеют уже 50—80-летнюю давность.

За этот период времени все отрасли естествознания далеко шагнули вперед в своем развитии.

Бурное развитие таких наук, как химия и физика, вооружило человека совершенно новыми средствами овладения и управления богатствами и силами природы; успехи физики, химии и ряда биологических наук обогатили ученых новыми эффективными методами исследования закономерностей, явлений и процессов мертвой и живой природы; успехи естественных наук не только развили и уточнили круг прежних знаний и представлений, но в ряде случаев привели к возникновению совершенно новых представлений о сущности основных категорий природы: материи, энергии, времени, пространства и т. д.

Естественно, что наряду с общими успехами основных отраслей естествознания изменились и многие представления по фотосинтезу.

Современные представления о сущности, о механизме этого процесса во многом отличаются от представлений конца

19-го века, когда в этой области активно работал К. А. Тимирязев.

Но, несмотря на это, работы К. А. Тимирязева не потеряли своего громадного значения и в настоящее время.

Значение их для нашего времени заключается, прежде всего, в том, что они создали в свое время коренной переворот в развитии знаний по фотосинтезу. Они послужили истинно научной основой развития тех направлений в этой области, которые являются важнейшими и в современных исследованиях. Мы имеем в виду вопросы механизма, энергетики фотосинтеза, вопросы о природе и механизме участия в процессе зеленого пигмента хлорофилла. Многое из того, что сделал К. А. Тимирязев в этой области, служит краеугольным камнем современных представлений. Со многими положениями, которые К. А. Тимирязев с такой убедительностью обосновывал экспериментально, с таким жаром и талантом защищал в печатных трудах, в лекциях и публичных выступлениях, мы свыклись в такой мере, что они кажутся нам само собой разумеющимися и мы нередко не представляем себе достаточно отчетливо того, что в свое время нужны были громадные усилия, настойчивость и талант, чтобы доказать их закономерность, чтобы добиться их признания.

Так обстояло, например, дело с представлением о том, что в основе процесса фотосинтеза лежит закон сохранения энергии, что есть строгие отношения между энергией поглощаемого света, осуществляемой при его участии химической работой и количеством запасаемой растением энергии.

Работы К. А. Тимирязева создали в свое время новые *истинно научные* основы в изучении энергетики и механизма фотосинтеза. Они послужили отправным пунктом нового этапа в развитии этой области знания. Они являются классическими исследованиями, и это определяет необходимость подробного знакомства с ними для каждого современного биолога, а тем более физиолога растений.

В оценке этих работ необходимо учитывать прежде всего историческое их значение.

Но вместе с тем и их содержание, и удивительное мастерство, и техника, при помощи которой они выполнены, и идейная направленность, и мужество и страстность, с которыми автор отстаивает свои взгляды, должны сами по себе служить объектом изучения, указывая пути, которыми должен итти в своей работе каждый, и тем более советский, ученый.

Говоря о значении работ К. А. Тимирязева для нашего времени, мы не можем не вспомнить того, что сам он писал о трудах одного из основоположников работ по фотосинтезу — Сенебье.

Эти слова могут быть в полной мере отнесены к работам и самого К. А. Тимирязева: «Занимаясь исследованием частных явлений, делая свои открытия, он никогда не упускал из виду методологической стороны экспериментального изучения природы, как высшей практической школы логики». [1]

Эта особенность, которая в высшей степени присуща всем работам самого К. А. Тимирязева, делает их столь же важными для подробного изучения в настоящее время, как это было и полвека тому назад.

Вспоминая опять-таки слова самого К. А. Тимирязева, сказанные им в связи с оценкой работ Сенебье, мы можем сказать, что на работах нашего великого соотечественника мы должны учиться тому, как «закалить свой ум, воспитать в себе чувство правдивости в... школе изучения природы, где мысль на каждом шагу контролируется фактом, где человек вернее, чем в какой иной области знания научается высшему из искусств, искусству равно необходимому и в науке и в жизни,—искусству искать и находить истину». [2]

---

[1] «Почему и зачем растение зелено». (К. А Тимирязев. Сочинения. Сельхозгиз. 1937, т. I, стр. 258).

[2] Там же, стр. 259.

Цель настоящей статьи обратить внимание на те факты и обстоятельства, которые должны способствовать правильной оценке работ К. А. Для этого необходимо, прежде всего, принять во внимание состояние знаний по фотосинтезу в последней трети девятнадцатого века, т. е. в период наиболее интенсивной экспериментальной работы К. А. Тимирязева в области фотосинтеза.

РАБОТЫ К. А. ТИМИРЯЗЕВА И ЗНАЧЕНИЕ ИХ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЗНАНИЙ ПО ФОТОСИНТЕЗУ

В настоящее время каждый кончающий среднюю школу имеет твердое представление о том, что зеленые растения усваивают углекислый газ из воздуха; что из молекул этого газа и воды они синтезируют органическое вещество, выделяя при этом свободный кислород и проводя таким образом восстановительную работу; что эта работа осуществляется при помощи энергии солнечного света; что световая энергия улавливается зеленым пигментом хлорофиллом и направляется на химические превращения молекул CO_2 и H_2O; что, обеспечивая эти превращения, световая энергия не исчезает, не деградирует, а превращается в энергию химическую и сохраняется в форме потенциальной энергии вновь образованных органических веществ.

В настоящее время каждый кончающий среднюю школу имеет ясное представление о том, что в основе физиологического процесса фотосинтеза лежат законы физики и химии, что осуществляется он в строгом соответствии с законами сохранения материи и энергии, что этот сложнейший и важнейший физиологический процесс, от которого зависит жизнь почти всех организмов на земле, в результате которого первично создается органическое вещество, а затем и живая материя, дает наиболее яркий и убедительный материал для материалистического понимания жизни.

Все указанные положения не подвергаются сейчас сомнениям, они преподаются учащимся и воспринимаются ими как материал вполне ясный и остаются после этого в сознании как нечто непреложное, как непременная часть того интеллектуального багажа, которым обладает каждый культурный человек.

Далеко не такое положение было в тот период, когда начал свои работы К. А. Тимирязев, что относится к 60—70-м годам прошлого века.

К этому времени исполнилось уже сто лет с момента открытия фотосинтеза Джозефом Пристли в 1771 году.

В период с 1771 и до тридцатых годов 19-го века в результате работ Ингенхауза, Сенебье, Соссюра было установлено, что растения создают органические вещества из углекислоты и воды, что процесс этот осуществляется только на свету и только в том случае, если действию света подвергаются зеленые растения или органы их, имеющие зеленую окраску.

Однако в это время не было еще ясно, что основным источником углерода для наземных зеленых растений является углекислый газ, находящийся в воздухе.

Не было еще ясных представлений о том, каков физический смысл, каков механизм связи между процессом усвоения углекислоты и выделением кислорода, с одной стороны, и светом и зеленой окраской растений — с другой.

Не было еще и отчетливых представлений о том, что К. А. Тимирязев стал называть в дальнейшем «космической ролью зеленых растений». Естествоиспытателям первой трети девятнадцатого века не было еще ясно, что зеленые растения, связывая солнечную энергию, первично создают органическое вещество, необходимое для жизни всех других организмов, и тем самым обеспечивают существование вообще всей жизни на земле. Наоборот, в первой половине девятнадцатого века широким признанием пользовалась «гумусная теория» Тэера, согласно которой растения питаются углеродом, усваивая

из почвы органические вещества, входящие в состав гумуса.

Таким образом, вопрос о круговороте углерода и о балансе органического вещества на нашей планете в то время либо не ставился, либо решался в полном несоответствии с истинным положением вещей.

Тем более не был тогда ясен вопрос о важности энергической стороны фотосинтеза и о круговороте энергии, который начинают зеленые растения, улавливая и трансформируя энергию солнца и в результате которого осуществляется вся жизнь на нашей планете.

Коренные изменения в представлениях по этим вопросам произошли в середине 19-го века в результате работ одного из творцов закона сохранения энергии Роберта Майера, а также работ Либиха и Буссенго.

Знаменитый Либих, ведя энергичную борьбу с гумусной теорией Тэера, ставил на разрешение вопрос о балансе органического вещества на Земле и защищал ту точку зрения, что основной и характерной особенностью зеленых растений является то, что они питаются не органическими веществами гумуса, а минерализованными соединениями углерода, создавая из них органические вещества, используемые затем другими организмами (1840).

Органическое же вещество гумуса — само растительного происхождения.

Р. Майер впервые (1845) высказал положение о том, что зеленые растения осуществляют синтез органических веществ из углекислоты и воды при помощи энергии солнечного света, связывая и запасая ее в форме энергии химической и делая ее доступной для использования в процессе жизнедеятельности другими организмами.

Так возникли основы представлений о «космической роли» зеленых растений, первично запасающих солнечную энергию в том виде, в котором она становится доступной для всех других организмов на нашей планете.

Основоположник современной физиологии растений и агрохимии Буссенго, учеником которого считал себя К. А. Тимирязев, серией блестящих опытов (1864, 1874) показал, что практически единственным источником углеродного питания зеленых растений является углекислый газ воздуха.

Так к семидесятым годам прошлого столетия стало ясно громадное значение процесса фотосинтеза в экономике природы; стало ясно, что в листе зеленого растения совершается процесс, исключительный по своему значению для существования всей живой природы, а следовательно и для существования и благополучия человека.

Будучи еще студентом, К. А. Тимирязев проявлял поразительную интуицию и способность выделять из многочисленных достижений науки самые важные, самые значимые.

Проблема фотосинтеза и проблема эволюции живых форм — вот две основных области естествознания, которые К. А. с замечательной прозорливостью оценил, как самые важные, и не изменял этому убеждению в течение всей своей жизни.

В изучении этих проблем он видел средство познать самые сокровенные тайны природы и научиться управлять ее силами там, где зависимость человека от природы проявляется особенно сильно.

В изучении этих проблем он видел одно из самых сильных и действенных средств борьбы с реакционными и метафизическими концепциями, с витализмом.

К убеждению, что фотосинтез «самое важное физиологическое явление», привели К. А. Тимирязева работы Пристли, Ингенхауза, Сенебье, Соссюра, Р. Майера, Буссенго.

Однако эти работы давали только общее представление об особенностях процесса и его значении в экономике природы.

Что касается наиболее существенных принципов и закономерностей, на основе которых осуществляется этот процесс, то, по существу говоря, никаких научно обоснованных представлений по этому вопросу в то время не существовало.

Сам К. А. Тимирязев определяет положение вопроса к началу его работ следующим образом: «...если благодаря новейшим успехам физики и химии мы... подвинулись в общем понимании этого процесса,— усвоения углерода растениями,— то самый механизм этого процесса для нас и теперь почти так же темен, как он был темен за 100 лет перед сим». [1]

«Можно сказать, что со времени Соссюра наука нисколько не продвинулась в понимании этого явления». [2]

На выяснение основных особенностей механизма фотосинтеза и направил свой талант и силы К. А., ибо это была задача,— хотя и трудная,— но в то же время наиболее важная.

Из всего сложного комплекса вопросов, связанных с этой проблемой, К. А. опять-таки с замечательной интуицией выбрал то, что является наиболее существенным.

Еще со времени работ Ингенхауза было ясно, что способность к фотосинтезу связана каким-то образом с наличием у растений зеленого пигмента, извлекаемого спиртом.

Берцелиус, Фреми, Брюстер, Стокс и другие исследователи первой половины 19-го века установили, что красящие вещества спиртового экстракта состоят из нескольких компонентов, что они поглощают красные и синие лучи спектра и в растворе обладают способностью к флуоресценции.

Однако сумма таких знаний не только не объясняла, но даже и не доказывала прямого участия хлорофилла в процессе фотосинтеза.

Одним из прямых доказательств тому могло бы быть установление факта, что фотосинтез осуществляется только в тех лучах спектра, которые поглощаются хлорофиллом.

Попытки установить зависимость фотосинтеза от длины волны делались и до Тимирязева и, в частности, крупным

---

[1] «Спектральный анализ хлорофилла». (Настоящий сборник, стр. 17—18).

[2] Настоящий сборник, стр. 8.

физиком Дрепером. На основании своих опытов Дрепер пришел к выводу о том, что максимальная интенсивность фотосинтеза наблюдается в желтых, т. е. наиболее ярких, наиболее сильно воспринимаемых человеческим глазом лучах.

Эта точка зрения пользовалась тогда всеобщим признанием и поддерживалась авторитетом таких ученых, как Сакс, Пфеффер и многие другие.

Так как в опытах Дрепера положение максимума интенсивности фотосинтеза не совпадало с положением максимумов поглощения света хлорофиллом, то указанные исследователи делали заключение о действии света на фотосинтез, как раздражителя.

Итак на стороне Дрепера были, во-первых, экспериментальные данные и, во-вторых, авторитет наиболее крупных физиков и ботаников того времени.

Однако интуиция убежденного материалиста дала возможность К. А. Тимирязеву увидеть ошибки опытов Дрепера и порочность его умозаключений.

Цепь рассуждений К. А. Тимирязева была, примерно, такова: спектр поглощения света живым зеленым листом совпадает со спектром поглощения растворов хлорофилла. Следовательно хлорофилл практически единственное вещество в листе, которое в значительных количествах поглощает свет (в красной и синей части спектра).

Процесс фотосинтеза, так же как и любой другой фотохимический процесс, несомненно должен осуществляться в строгом соответствии с законом сохранения энергии.

Таким образом, утверждения о том, что свет служит только раздражителем для процесса и что нет строгого соответствия между поглощением световой энергии листом и интенсивностью процесса фотосинтеза, являются антинаучными, метафизичными и беспочвенными.

Для растения нет света как света, как для глаза.

Для растения свет есть поток энергии, состоящий из волн разной длины.

Те из световых волн, которые поглощаются листом, и должны вызывать процесс фотосинтеза. Так как лист поглощает свет почти целиком при помощи хлорофилла, то, следовательно, именно хлорофилл и является основным участником процесса фотосинтеза. Это согласуется с принципом Гершеля, согласно которому фотохимические реакции осуществляются только при поглощении света и при участии тех лучей, которые поглощены данным телом или системой тел.

Так как в процессе фотосинтеза химическим превращениям подвергаются углекислота и «по всей вероятности вода»,[1] сами для световых лучей прозрачные, то, следовательно, хлорофилл служит не только уловителем, но и передатчиком энергии, т. е. выполняет роль фотосенсибилизатора.

Таким образом, несмотря на, казалось бы, полную ясность вопроса, созданную работами Дрепера и авторитетом школы Сакса, да и многих других ученых того времени, К. А. Тимирязев ясно увидел несостоятельность этих воззрений и приступил к работе с отчетливым представлением о ее целях и задачах, и уверенно предвидя ее результаты.

В данном случае он проявил замечательный пример того необходимого качества и условия работы, которое сам он определил следующими словами. «Для разрешения своих сложных задач он (исследователь-биолог) должен прежде попятиться — познакомиться с более простыми химическими и физическими процессами, лежащими в основе изучаемых им жизненных явлений».[2]

К. А. Тимирязев осуществил это знакомство столь основательно, что построил логическую схему, в совершенстве которой он далеко превзошел современных ему не только ботаников, но и физиков.

[1] Настоящий Сборник, стр. 8.

[2] «Сочинения», т. I, стр. 244.

Однако создать логически правдоподобную схему — это еще далеко не все, что необходимо.

Дальнейшую свою задачу К. А. Тимирязев определял следующими словами: «Для того, чтобы доказать верность моей точки зрения, мне представлялась двойная задача: доказать неверность их (предшествующих исследователей: Дрепера, Сакса и др.) фактов и новыми более точными опытами фактически доказать верность моего логически верного воззрения».[1]

Эту задачу К. А. Тимирязев разрешил так же блестяще, как блестяще он провел до этого логический анализ материалов, относящихся к состоянию вопроса.

При помощи сравнительно несложных опытов он доказал, что Дрепер в своих работах, пропуская свет на призму через слишком широкую щель, получал нечистый спектр.

В этом случае, именно в желтой части, суммировались лучи не только чисто желтые, но и лучи соседних участков, создавая в этой части получаемого спектра не только наибольшую яркость, но и наибольшую интенсивность потока энергии.

Сузив щель, К. А. Тимирязев стал получать чистый спектр, что было связано, однако, со снижением интенсивности светопотоков в различных частях получаемого таким образом спектра. Для выяснения вопроса о зависимости фотосинтеза от длины волны в разные участки спектра должны были помещаться листья и учитываться интенсивность их фотосинтеза.

Однако сравнительно небольшая интенсивность света, обусловленная необходимостью пропускать луч через узкую щель, определяла низкую интенсивность фотосинтеза листьев.

При этих условиях достоверные выводы могли быть сделаны только при наличии в руках исследователя очень точного и чувствительного метода учета самого фотосинтеза.

Разработкой такого метода и занялся К. А. Тимирязев с первых же шагов своей экспериментальной работы.

---

[1] «Сочинения», т. I, стр. 190.

Таким образом, уже в 1868 году им был описан «Прибор для исследования воздушного питания листьев...», [1] далеко превосходящий по своей точности все, чем пользовались исследователи до того времени.

Работу по улучшению и усовершенствованию методов учета фотосинтеза К. А. продолжал и в последующие годы, доведя степень чувствительности и точности их до чрезвычайно высокого уровня.

Сам он (имея в виду также и работы по изучению свойств хлорофилла) говорит о характере своей работы следующими словами: «Я исследовал вопрос со всех доступных сторон, все точнее и точнее его ограничивая, разнообразя и совершенствуя приемы исследования и пользуясь для его объяснения каждым новым успехом в смежных областях химии и физики». [2]

Итак, с первых же шагов работы К. А. в области фотосинтеза он проявил следующие замечательные качества исследователя: 1) по интуиции материалиста, прогрессивно настроенного и обладающего широким кругозором человека, он выделил для своей работы один из важнейших и интереснейших вопросов биологии. Интуиция не обманула К. А. Тимирязева: проблема фотосинтеза занимает одно из центральных мест среди многочисленных и сложных вопросов биологии и в настоящее время; 2) перед тем как приступить к экспериментальной работе, К. А. Тимирязев тщательно и всесторонне изучил состояние вопроса и создал логически стройную схему, критически оценившую предшествующие результаты, наметившую логически правильные положения и четко определившую необходимый путь собственных исследований; 3) наконец, для ведения работы была создана совершенная, по тому времени, материальная база: в процессе работы получались чистые спектры, а самый ход процесса фотосинтеза учитывался при

---

[1] Настоящий сборник, стр. 7.

[2] «Современное состояние наших сведений о функции хлорофилла». «Сочинения», т. I, стр. 388.

помощи специально разработанного высоко чувствительного и точного метода.

Во всем этом и заключались те именно необходимые условия, которые не могли не обеспечить блестящего успеха работы. Неуклонное и систематическое выполнение этих условий ярко характеризует облик К. А. Тимирязева, как выдающегося по своим качествам человека и исследователя.

В конечном итоге работы К. А. Тимирязева поставили исследования в области механизма фотосинтеза на твердую научную основу.

В результате этих исследований получили экспериментальное подтверждение все те положения, которые еще до начала работы К. А. Тимирязев считал правильными на основании логических соображений. Работы К. А. Тимирязева показали, что фотосинтез осуществляется именно в тех лучах, которые поглощаются хлорофиллом. Вместе с тем физиологическая активность поглощаемых хлорофиллом лучей зависит от запаса энергии, который они несут. Благодаря этому фотосинтез в спектре, полученном в результате разложения солнечного луча, оказывается наиболее интенсивным в красной его части.

Развивая это экспериментально доказанное положение, К. А. Тимирязев сделал попытки охарактеризовать количественную сторону связывания солнечной энергии в процессе фотосинтеза.

Сопоставляя суммарную теплоту сгорания урожаев некоторых растений, с одной стороны, и количество падающей на площадь посева или насаждения солнечной энергии — с другой, К. А. Тимирязев констатирует, что растения связывают и запасают в виде химической энергии лишь около одного процента от той энергии, которая падает на площадь посева в виде солнечного света за весь вегетационный период.

Между тем общее количество поглощаемой зеленым листом световой энергии в несколько раз больше и составляет примерно 25% от падающего на него общего потока энергии.

Куда же девается излишек энергии, поглощаемой листьями сверх того, что прямо используется на осуществление процесса фотосинтеза и связывается в виде химической энергии во вновь образуемых органических веществах?

Тимирязев заключает, что эта избыточная энергия света превращается в энергию тепла, нагревает листья и обусловливает чрезвычайно большой расход влаги на испарение.

Таким образом, наземные зеленые растения находятся, по утверждению К. А. Тимирязева, перед противоречивыми задачами: с одной стороны, для обеспечения фотосинтеза они должны обладать структурой листьев, приспособленной к максимально хорошему газообмену с внешней средой; с другой,— поглощая много энергии,— они нередко находятся в состоянии напряженного водного баланса, страдают от его нарушений и от перегрева органов.

Таким образом, транспирация, в результате которой растениям приходится испарять и добывать много влаги, является для растений не столько органически необходимым процессом, сколько «неизбежным злом», вытекающим из соотношений между определенными свойствами самого растения и его жизненными задачами, с одной стороны, и характером условий среды, в которой ему приходится обитать,— с другой.

В этой цепи умозаключений К. А. Тимирязев проявил еще одно замечательное качество: уменье самый сложный и, казалось бы, чисто теоретический вопрос,— в данном случае вопрос о зависимости между фотосинтезом и качеством и интенсивностью света, — тесно связать с практическими задачами и запросами.

И на самом деле положение, на котором с такой остротой сосредоточил внимание К. А. Тимирязев еще в прошлом веке, имеет самое актуальное значение и в настоящее время: из колоссального потока солнечной энергии сельскохозяйственные растения используют на синтез органических веществ, на связывание и запасание в виде химической энергии ничтожную

часть: по более новым данным до 2—2,5 и в самых лучших случаях до 5%.

Значительно бо́льшая часть энергии идет на нагревание листьев (которое нередко может быть вредным), на усиленное испарение воды.

Таким образом, перед земледельцем стоит центральная задача: всемерно повышать коэффициент полезного использования растениями солнечной энергии, использования ее именно на фотосинтез.

Это осуществляется, прежде всего, путем общих и элементарных приемов агротехники (хорошей обработки почв, применения удобрений, улучшения условий водоснабжения, введения высокоурожайных сортов, оптимального размещения растений на площади посева или насаждения и т. д.).

Все эти общие приемы обеспечивают лучший рост растений, лучшее развитие поверхности ассимилирующих органов — листьев, лучшее и более интенсивное использование на ростовые и пластические процессы ассимилятов, образуемых листьями, что и приводит к повышению коэффициента полезного использования солнечной энергии.

Наряду с этими общими приемами имеется целая серия таких, которые прямо направлены на улучшение работы ассимиляционного аппарата и на более рациональное использование им потоков солнечного света.

К приемам этого типа относится прямое стимулирование активности и работы ассимиляционного аппарата растений при помощи удобрений атмосферы углекислым газом [1, 2, 3], при помощи обработки растений растворами некоторых микроэлементов (цинк, медь и др.) [4,5].

В зонах с избыточной инсоляцией нередко наиболее продуктивными оказываются сорта, обладающие менее интенсивной окраской листьев (например, свекла), что уменьшает избыточное поглощение солнечной энергии, идущей на нагревание листьев и на транспирацию.

Принцип К. А. Тимирязева, принцип, говорящий о том, что земледелец всеми силами должен стремиться помогать растению преодолевать противоречие, возникающее между использованием энергии солнца на фотосинтез, с одной стороны, и на нагревание листьев и транспирацию — с другой,— является основным принципом земледелия вообще, а тем более земледелия засушливых областей.

Своими работами К. А. Тимирязев создал для этого земледелия рациональную научную основу, поставил перед ним ясную физиологическую цель.

* * *

Наряду с указанными выше, не менее важное значение имеют работы К. А. Тимирязева по изучению свойств хлорофилла.

Сам К. А. определял задачи своих работ в этой области следующими словами:

«Прежде чем приступить к изучению основного вопроса о связи между фотохимическим процессом и поглощением света в зеленом листе, нужно было изучить спектры поглощения хлорофилла и его ближайших составных частей, точнее, чем это сделано до сих пор».

Эту задачу К. А. Тимирязев разрешил с таким же совершенством, какое характеризует и все другие его работы.

Прежде всего он опять-таки видоизменил и усовершенствовал прибор для определения спектров поглощения, достигнув в этом совершенства, значительно опередившего уровень современной ему техники исследований в этой области.

Кроме того, К. А. значительно усовершенствовал самый способ изображения спектров поглощения: если до него они изображались в виде отдельных разрозненных полос поглощения, то К. А. ввел такой способ изображения спектрограмм, где давал изображение спектров поглощения в зависимости от толщины слоя или концентрации испытуемого раствора.

Устанавливая зависимость ширины полос поглощения от

толщины слоя или концентраций растворов, К. А. поставил вопрос о возможности количественного определения хлорофилла методом спектрофотометрии. Правда, сам он не смог осуществить этой идеи, так как тогда еще не был найден способ выделения чистого хлорофилла для приготовления стандартных растворов. Но тем не менее своими работами К. А. Тимирязев создал прочные основы для современной спектрофотометрии, которая является сейчас основным методом исследований не только в изучении свойств пигментов зеленых растений вообще, но и наиболее важных вопросов механизма фотосинтеза.

В результате своих исследований К. А. Тимирязев несравненно более точно, чем его предшественники, определил положение основных максимумов поглощения хлорофилла. Этот факт имел важное значение для дальнейших исследований, так как положение максимумов и полос поглощения служит основным критерием состояний, превращений и разнокачественности пигментов как в зеленом листе, так и в опытных средах.

Уточнение спектров поглощения хлорофилла дало возможность К. А. Тимирязеву блестяще разрешить и тот основной вопрос, который интересовал его в первую очередь,— вопрос о связи между поглощением света хлорофиллом и фотосинтезом.

Используя метод спектрофотометрии, К. А. Тимирязев провел ряд работ, имеющих целью выяснить химическую природу хлорофилла и возможные его превращения.

Правда, в этой области К. А. Тимирязев получил наименьшее число данных, которые сохранили значение в настоящее время. Это понятно, так как в то время уровень химических знаний был таков, что не было возможности провести полное химическое расчленение пигментов, входящих в тот комплекс, который мы обычно определяем как хлорофилл.

Не было возможности получить и исследовать эти компоненты в чистом виде.

Таким образом, К. А. Тимирязев был принужден работать со смесью пигментов, только частично разделяемой извлечением ксантофилла.

Естественно, что при этом положении вещей применение одного спектроскопического метода не могло привести к сколько-нибудь существенным заключениям о химической природе хлорофилла. И на самом деле в этой области стали получаться факты кардинальной важности только тогда, когда пигменты зеленых растений были подвергнуты подробному изучению со стороны крупнейших химиков, чисто химическими методами [7, 8, 9].

Тем не менее, не будучи химиком, и используя для исследования хлорофилла главным образом спектроскопический метод, К. А. Тимирязев даже при этих условиях сделал на основании своих наблюдений ряд таких выводов и прогнозов, которые представляют чрезвычайный интерес и которые могут быть оценены по достоинству только в свете более поздних и даже самых последних данных. Так, например, еще до работ Ненцкого и Мархлевского К. А. Тимирязев настойчиво подчеркивал мысль об общности химической природы гемоглобина и хлорофилла.

Эта мысль была блестяще подтверждена позднейшими работами как в том смысле, что и хлорофилл и гемин имеют в основе строения молекул пиррольные кольца, так и в том отношении, что в деятельном виде они находятся в комплексе с белками [10, 11].

Проведя серию наблюдений над восстановлением хлорофилла,[1] К. А. Тимирязев пришел к заключению, что предшественником образования хлорофилла является «протофиллин», который, окисляясь, образует хлорофилл. Эта идея о близких предшественниках хлорофилла, которые образуются

[1] «Искусственный протофиллин», «Протофиллин в живом растении» и др. (См. настоящий сборник, стр. 222 и 226).

в способных зеленеть органах в темноте (лейкофилл и протохлорофилл) и быстро превращаются затем в хлорофилл на свету, в результате реакции окисления или восстановления, была экспериментально показана во многих работах, обзор которых можно найти в VII Тимирязевском чтении Т. Н. Годнева [7].

Вторая плодотворная идея, которая была выдвинута К. А. Тимирязевым на основании исследований превращений хлорофилла, вытекает из следующей постановки вопроса.

Установив факт участия хлорофилла в поглощении энергии, идущей на фотосинтез, и роль его, как фотосенсибилизатора, К. А. Тимирязев поставил на разрешение вопрос о механизме участия хлорофилла в процессе, предусматривая три возможности: «Хлорофилл может действовать или вообще, как пигмент, т. е. как тело, задерживающее, превращающее и передающее энергию луча, или как вещество, поглощающее известные лучи, специально вызывающие разложение углекислоты и воды, или, наконец, как вещество, участвующее в реакции». [1]

Этими словами К. А. Тимирязев поставил на разрешение один из самых трудных и самых важных вопросов механизма фотосинтеза, вопрос о природе поглощения, трансформации и связывания энергии солнца зеленым растением.

После работ К. А. Тимирязева этот вопрос решался поразному разными исследователями.

Так, с одной стороны, существует точка зрения о том, что молекула хлорофилла, поглощая энергию, переходит в возбужденное состояние, а затем внешним путем передает энергию молекулам CO_2 или H_2O в результате соударения возбужденной и невозбужденной молекул.

В этом случае предполагается, что хлорофилл или частицы хлорофиллбелкового комплекса не вступают в химические взаимодействия и соединения с молекулами других веществ.

[1] «Об усвоении света растением». (См. настоящий сборник, стр. 208).

Эта точка зрения, имевшая широкое признание 10—15 лет тому назад [12], не находит солидных и неопровержимых экспериментальных подтверждений в настоящее время.

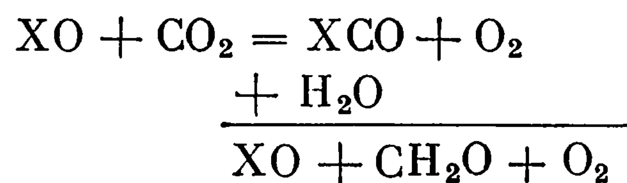
На основании ряда своих наблюдений К. А. Тимирязев пришел к выводу о том, что хлорофилл может быть в листе в двух формах: восстановленной и окисленной, и механизм его участия в процессе фотосинтеза заключается в его обратимом окислении — восстановлении.

В результате этого К. А. еще в одной из первых своих больших работ «Спектральный анализ хлорофилла» в 1871 году предложил широко известную схему процесса фотосинтеза, где синтез углевода из CO_2 и H_2O осуществляется в результате последовательного восстановления и обратного окисления хлорофилла.

Как предполагал К. А. Тимирязев, под действием света углекислый газ диссоциирует на окись углерода и кислород; окисленный хлорофилл XO выделяет кислород и присоединяет окись углерода. Суммарный эффект двух указанных стадий может быть представлен, таким образом, уравнением: $XO + CO_2 = XCO + O_2$.

Комплексное соединение XCO реагирует с водой, образуя опять окисленную форму хлорофилла XO и продукт синтеза CH_2O (формальдегид).

В целом схема имеет следующий вид:



$$XO + CO_2 = XCO + O_2$$
$$+ H_2O$$
$$XO + CH_2O + O_2$$

Созданная почти 80 лет тому назад, т. е. в тот период времени, когда еще не были разработаны многие важные для данного случая положения фотохимии, физической химии и, в частности, не существовало квантовой теории света, схема К. А. Тимирязева вполне естественно уступила в дальнейшем место более новым и современным.

Однако, создавая ее, К. А. Тимирязев с замечательной интуицией принимал во внимание, учитывал и обсуждал многие принципы, которые лежат в основе современных теорий фотосинтеза.

Так, намного опередив свое время, К. А. Тимирязев изображал процесс фотосинтеза, как окислительно-восстановительный процесс, где в качестве одного из компонентов окислительно-восстановительной системы предусматривается хлорофилл, который сам подвергается либо окислению, либо восстановлению.

Эта плодотворная идея начинает находить солидные экспериментальные подтверждения в работах уже последнего времени. Сейчас уже все без исключения схемы представляют фотосинтез, как процесс окислительно-восстановительный (углекислый газ — окислитель, вода — восстановитель), а хлорофилл—как компонент окислительно-восстановительной системы и переносчик водорода (см. [13, 14 и 15]).

Кроме указанного, К. А. Тимирязев ввел в свою схему еще один из элементов, широко используемых в более поздних и современных схемах.

Мы имеем в виду допущение об образовании промежуточных комплексных соединений реагирующих веществ и катализаторов. В схеме К. А. Тимирязева предусматривается, в частности, соединение хлорофилла и окиси углерода.

Плодотворным является представление об образовании промежуточных комплексных соединений, облегчая решение вопросов об энергетике фотохимических реакций фотосинтеза и о механизме переноса и трансформации поглощенной световой энергии.

В своей работе К. А. Тимирязев оценивал возможность осуществления предполагаемых фотохимических реакций фотосинтеза с энергетической стороны, сопоставляя энергетический эффект поглощения лучей хлорофиллом и энергетическую сторону диссоциации CO_2. Иначе говоря, со стороны К. А. Тимирязева уже тогда подвергался подробному обсужде-

нию вопрос, который является одним из центральных в создании схем фотосинтеза и в настоящее время, хотя сейчас этот вопрос и решается на основе иных принципов, чем это делал К. А. Тимирязев, и, в частности, решается с позиций квантовой теории.

Предлагая свою схему, К. А. Тимирязев ставил на разрешение и еще один кардинальный вопрос механизма фотосинтеза, а именно вопрос о том, на какое исходное вещество (CO_2 или H_2O) направляется световая энергия, поглощаемая хлорофиллом. Сам он решал этот вопрос в пользу CO_2.

В соответствии с уровнем знаний того времени, это было вполне логично,— ведь общее представление было таково: растения усваивают углерод в окисленной форме — в форме CO_2.

В результате фотосинтеза углерод оказывается в составе соединений более восстановленных.

Основной смысл процесса фотосинтеза заключается в восстановлении CO_2. В силу этого считалось наиболее вероятным, что действие света направлено именно на молекулы CO_2, на их диссоциацию. Эта идея, нашедшая отражение в схеме, предложенной К. А. Тимирязевым, принималась затем в подавляющем большинстве схем, предложенных и другими авторами. И только в последние годы под влиянием новых фактов вопрос стал решаться по-другому, о чем речь будет ниже.

Итак, К. А. Тимирязев предложил всесторонне продуманную и по своему времени обоснованную схему.

Однако, решая отдельные вопросы и детали механизма процесса фотосинтеза, он выбрал наиболее вероятные по уровню знаний того времени, но не единственно возможные варианты решений.

В процессе дальнейшей работы были получены многие новые факты кардинальной важности, которые легли в основу разработки более новых и современных схем механизма фотосинтеза. Величайшая же заслуга К. А. Тимирязева заключается в том, что он, продвинув далеко наши знания в области фото-

синтеза своими собственными работами, создал прочную базу и открыл широкий путь для дальнейшего успешного развития работ в этой важной области. В этом громадная заслуга К. А. Тимирязева перед наукой вообще и особенно перед русской наукой, которая по праву может гордиться своим великим соотечественником.

РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО ФОТОСИНТЕЗУ ПОСЛЕ ТРУДОВ К. А. ТИМИРЯЗЕВА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Прежде чем перейти к изложению современного состояния основных знаний по фотосинтезу, необходимо кратко остановиться на описании важнейших новых принципов, которые были разработаны уже в 20-м веке и которые берутся за основу при решении основных проблем фотосинтеза.

При этом мы ограничим свою задачу описанием того, что относится только к проблеме *механизма* фотосинтеза, имея в виду, что именно эта проблема и была предметом изучения со стороны К. А. Тимирязева.

Наиболее важным обстоятельством, которое коренным образом изменило принципы изучения природы фотохимических реакций, явилась разработка квантовой теории света.

Согласно этой теории световая энергия излучается отдельными порциями, масса которых и составляет световой поток. Однако свет обладает свойством и отдельно летящих частиц и волн.

Каждый квант несет определенное количество энергии, которое определяется произведением постоянной Планка ($h = 6.607 \times 10^{-27}$ эрг/сек) на показатель частоты колебаний (ν) той волны света, которой соответствуют данные кванты.

Таким образом, размер кванта равен $h\nu$ эрг/сек. Фотохимические превращения веществ осуществляются таким образом, что каждая отдельная молекула претерпевает то или иное пре-

вращение, поглощая только один квант энергии, причем такой квант, энергия которого достаточна, чтобы вызвать это изменение (например, вызвать разрыв связи, оторвать электрон, перевести молекулу на такой уровень возбуждения, что станет возможной реакция ее с другой молекулой и т. д.).

Каковы же размеры энергии квантов видимого света?

Возвращаясь к формуле $h\nu$, выражающей энергию кванта, мы видим, что h — постоянная. Что касается частоты электромагнитных колебаний, то она тем больше, чем меньше длина волны, и выражается формулой $\nu = \frac{C}{\lambda}$, где C—скорость света (3×10^{18} км/сек), а λ — длина волны.

Из указанного ясно, что величина энергии кванта, например, синего света с длиной волны 460 mμ (зона поглощения света хлорофиллом) будет почти в полтора раза больше, чем энергия квантов красного света с длиной волны в 665 mμ (максимум поглощения хлорофилла в красной части).

Исходя из того, что при фотохимических реакциях каждая молекула поглощает один квант энергии, можно рассчитать, сколько энергии будет расходоваться на превращения граммоля того или иного вещества под влиянием лучей разной длины волны.

Эти показатели, очевидно, можно получить, перемножая показатели размеров энергии квантов ($h\nu$) на число Авогадро (6.023×10^{23}), соответствующее числу молекул данного вещества в граммоле его.

Таким образом получаются показатели, носящие название «эйнштейн».

В следующей таблице приведены показатели эйнштейнов для лучей с различной длиной волны.

Из этих данных вытекают следующие основные выводы:

1. Наиболее активными в химическом отношении являются лучи с короткой волной (синие и фиолетовые), так как каждый квант синего или фиолетового света несет, примерно, в $1^1/_2$—2

Область спектра	Длина волны (λ) в mμ	Эйнштейн ($h\nu N$) в калориях)
Красная *	750—650	37,80—43,63
Оранжевая	650—590	43,63—48,06
Желтая	590—575	48,06—49,32
Зеленая	575—490	49,32—57,88
Синяя *	490—455	57,88—62,33
Фиолетовая	455—395	62,33—71.80

* Зоны расположения основных максимумов поглощения света хлорофиллом.

раза больше энергии, чем квант красного света. Таким образом, в синих лучах могут осуществляться фотохимические реакции, требующие наибольших затрат энергии. Иначе говоря, круг реакций, которые могут осуществляться в лучах синего света, больше, чем число реакций, которые могут проходить в лучах красного света.

Но если взять реакцию, которая может протекать как в тех, так и в других лучах, то в этом случае фотохимический эффект может быть бо̀льшим именно в красных лучах. Дело в том, что перенос, например, 1 калории энергии светопотоком красного света осуществляется при участии в $1^1/_2$—2 раза большего числа квант, чем перенос 1 калории энергии лучами синего света: энергия каждого кванта красных лучей в $1^1/_2$—2 раза меньше, чем энергия кванта синих лучей.

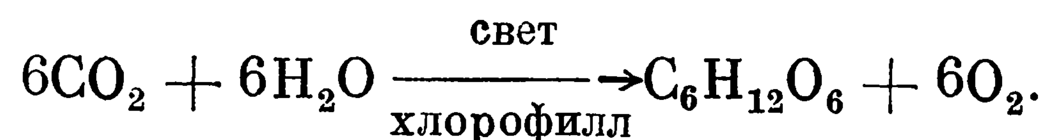
А так как превращение вещества в фотохимических реакциях осуществляется в результате поглощения одного кванта энергии каждой молекулой вещества, то при поглощении каждой калории красного света может подвергнуться превращению в $1^1/_2$—2 раза больше молекул, чем при поглощении одной калории синего света.

Таким образом, фотохимический выход реакции в красном свете будет выше. Представим себе, что данная реакция требует

на превращение граммоля вещества 40 калорий. Это соответствует эйнштейну красных лучей. Таким образом, мы можем сказать, что в красных лучах эта реакция пройдет при очень высоком коэффициенте полезного использования энергии. Если эта же реакция пройдет в синих лучах, то на осуществление самих химических превращений надо будет затратить 40 кал. на моль. Однако система поглотит в этом случае примерно 60 кал. на моль (таков эйнштейн синих лучей). Очевидно, что энергия в 20 калорий является в данном случае избыточной и пойдет только на излишнее нагревание системы. Коэффициент полезного использования энергии на осуществление самой фотохимической реакции в этом случае будет значительно ниже, чем в первом.

Теперь посмотрим, каковы энергетические условия процесса фотосинтеза.

Один из основных результатов фотосинтеза может быть изображен следующим уравнением:



$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{хлорофилл}]{\text{свет}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Для того, чтобы мог осуществиться указанный процесс, должны были бы произойти следующие изменения и превращения:

1. Должны подвергнуться разрыву прочные и бедные энергией связи $C = O$ и $H — O$ в молекулах углекислого газа и воды. При этом на разрыв связи $C = O$ необходимо затратить 127 кал. на граммоль, а на разрыв $H — O$ — 110 кал.

2. Вместо этих бедных энергией связей в результате синтеза молекулы гексозы должны возникнуть новые связи и группировки, в частности, связи $C — C$, $C — O — H$, $C — H$.

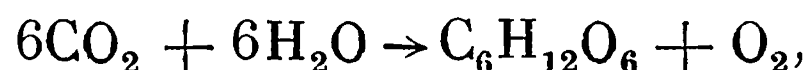
Это связи более богатые энергией, менее прочные, чем связи $C = O$ и $O — H$. Так, например, связь $C — C$ при сжигании вещества выделяет 53 кал., а связь $C — H$ — 48 кал. на

граммоль. Энергия таких связей и есть та энергия солнца, которая оказалась связанной и превращенной в химическую энергию в процессе фотосинтеза.

Таким образом, физический смысл процесса фотосинтеза заключается в том, что прочные и бедные энергией связи C = O или O — H подвергаются разрыву за счет энергии, поглощаемой хлорофиллом, и в то же время эта энергия сосредоточивается в новых связях: C — C, C — H и C — O — H.

Как же могут осуществиться эти превращения и с какими затратами энергии?

Если исходить из формулы фотосинтеза



$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2,$$

то в этом случае мы находим следующее: CO_2 и H_2O не обладают запасом энергии, которую можно было бы освободить и выделить путем сжигания.

Что касается сахара гексозы, то он уже обладает запасом энергии и, в частности, при сжигании его освобождается, примерно, 112 калорий тепла на каждый грамматом углерода.

Так как каждый атом углерода гексозы оказался в ней в результате восстановления одной молекулы CO_2, то мы можем считать, что на восстановление одной граммолекулы CO_2 до степени восстановленности углевода требуется затратить не менее 112 кал., что соответствует энергии 3-х эйнштейнов красных и 2-х эйнштейнов синих лучей. Иначе говоря, на восстановление одной молекулы CO_2 в процессе фотосинтеза требуется не менее трех квантов красных или двух квантов синих лучей. Но так как трудно, да практически даже невозможно предположить, что коэффициент полезного использования энергии в реакциях фотосинтеза будет равным единице, то надо заранее допустить, что фактически затраты квантов света на восстановление каждой молекулы CO_2 будут еще более высокими.

И на самом деле многие работы последних лет говорят о том, что на восстановление одной молекулы CO_2 в процессе фотосинтеза затрачивается 8—10 квантов энергии [13, 14, 15, 16].

Таким образом, мы должны признать, что восстановление каждой молекулы CO_2 сопровождается по крайней мере 8-ю какими-то элементарными фотоактами, эффект которых в конечном итоге суммируется в реакциях восстановления CO_2.

Каждый из этих элементарных фотоактов по своей энергетике таков, что он может быть осуществлен даже при действии сравнительно небольших квантов красного света.

Исходя из этих положений, мы можем дать современную интерпретацию тому вопросу, которому уделял особенно большое внимание К. А. Тимирязев.

Будучи убежденным эволюционистом, последователем Дарвина, К. А. пытался найти и в свойствах ассимиляционного аппарата растений черты приспособленности к условиям среды, и эта мысль особенно ярко разобрана им в лекции «Почему и зачем растение зелено».[1]

Здесь К. А. приходит к следующим заключениям: растения имеют зеленую окраску потому, что зеленый цвет — дополнительный к красному. А красные лучи поглощаются хлорофиллом. Это свойство хлорофилла не случайно. Оно поглощает прежде всего те лучи солнечного света, которые несут наибольшее количество энергии. Это положение, выдвинутое К. А. Тимирязевым, соответствует действительности и остается в силе.

Что касается другого соображения, высказанного К. А. Тимирязевым, то в свете новых данных оно должно быть истолковано по-другому. К. А. считал, что растения приспособлены поглощать красные лучи потому, что эти лучи, благодаря боль-

[1] «Сочинения», т. I, стр. 235.

шой амплитуде волны, обладают наибольшей активностью и лучше, чем другие, могут подвергать разложению наиболее прочные молекулы. Сейчас мы можем истолковывать этот вопрос следующим образом.

Фотосинтетический аппарат растений оказался таким, что элементарные фотохимические реакции его требуют сравнительно небольших затрат энергии и могут осуществляться при действии квантов даже красного света.

Вместе с тем красные лучи солнечного света несут с собой наибольшее количество энергии по сравнению с лучами других участков спектра.

Растения приспособились таким образом поглощать лучи с квантами, обладающими минимально необходимым для осуществления реакции запасом энергии. Благодаря этому коэффициент полезного использования таких лучей должен быть наиболее высоким.

Кроме того, в этих лучах может быть обеспечен и наиболее высокий общий, суммарный эффект фотосинтеза: эти лучи несут наибольшее количество энергии, а каждая калория энергии этих лучей содержит в $1^1/_2$—2 раза больше квантов, чем калория, например, синих лучей [17].

Так, в особенностях хлорофилла с замечательной яркостью проявляются черты удивительной приспособленности живых организмов к наиболее совершенному выполнению самых сложных функций в определенных условиях среды.

Эта мысль, высказанная К. А. Тимирязевым по отношению к ассимиляционному аппарату растений, находит полное подтверждение и в свете современных данных.

* * *

Перейдем теперь к основным вопросам механизма фотосинтеза, проведя сопоставление схемы процесса, предложенной К. А. Тимирязевым, со схемами наиболее современными.

Как было сказано выше, К. А. Тимирязев предполагал, что действие света в процессе фотосинтеза вызывает, во-первых, диссоциацию CO_2 с образованием CO и восстановлением окисленной формы хлорофилла (XO) с выделением свободного кислорода.

Одним из крупнейших достижений последнего времени в области фотосинтеза является окончательное выяснение источника выделяемого в атмосферу кислорода. Одна из основных заслуг в этом принадлежит нашему исследователю А. П. Виноградову [18 и 19], который с полной достоверностью доказал, что кислород, выделяемый в процессе фотосинтеза, освобождается в результате разложения молекул воды.

Выделение свободного кислорода является следствием мобилизации из молекул воды водорода. Последний, вероятно, через ряд катализаторов, переносится на углекислоту и восстанавливает ее. В этом и заключается характер фотосинтеза, как окислительно-восстановительного процесса.

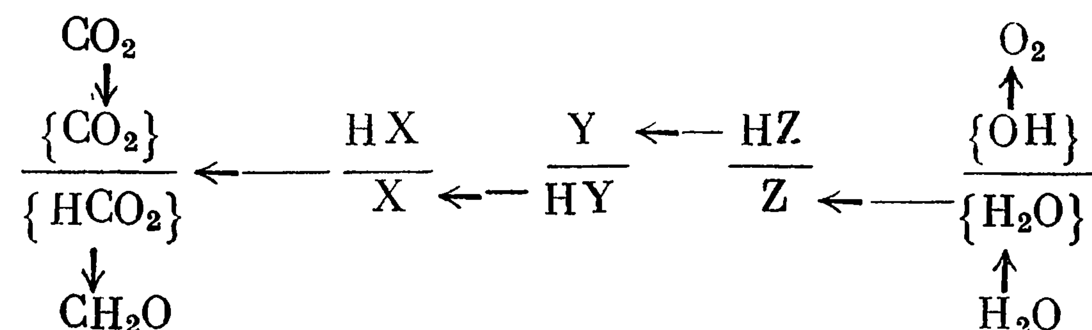
Работами Рубина, Камена и других исследователей [20] установлено, что первой стадией фиксации углекислого газа растением является присоединение его молекул к молекулам какого-то органического вещества с образованием карбоксильных групп (реакция карбоксилирования: $RH + CO_2 \rightarrow RCOOH$).

В дальнейшем в результате подвода водорода, мобилизованного при фотоокислении воды, происходит восстановление карбоксильной группы. Одним из акцепторов водорода воды и передатчиком его на другие системы по пути к углекислоте является, вероятно, хлорофилл, который, таким образом, подвергается обратимым окислениям и восстановлениям.

Идея К. А. Тимирязева об участии хлорофилла в процессе обратимого окисления — восстановления находит в настоящее время все больше и больше экспериментальных подтверждений и, в частности, в работах нашего исследователя А. А. Красновского [21, 22]. Так, Красновский установил, что хлорофилл в присутствии аскорбиновой кислоты восстанавливается на свету.

В темноте проходит обратный процесс: восстановление аскорбиновой кислоты и окисление хлорофилла.

Все указанные положения дают основание изобразить сущность процесса фотосинтеза следующей упрощенной схемой:



Эта схема показывает, что сущность процесса заключается в переносе водорода от воды на углекислоту через целый ряд промежуточных катализаторов, одним из которых, вероятно, является хлорофилл.

В схеме выражения в скобках,— например $\{CO_2\}$, $\{HCO_2\}$, $\{H_2O\}$ и др.,— обозначают, что данная группировка входит в состав комплекса. Так, например, CO_2 изображает молекулу углекислоты, вступившую в реакцию карбоксилирования и находящуюся в составе карбоксильной группы.

Приведенная схема дает только самое общее представление о характере процесса фотосинтеза. Но она не вскрывает сущности многих важных деталей: она не определяет, где, в какой части процесса совершаются световые фотохимические и где темновые,[1] энзиматические реакции; она не говорит о числе и о природе промежуточных катализаторов — переносчиков водорода; она не говорит о числе элементарных фотоактов или о числе квант энергии, участвующих в восстановлении одной молекулы CO_2; она не вскрывает и многих других деталей процесса.

[1] В дальнейшем мы для краткости будем называть реакции фотосинтеза, могущие итти без участия света, темновыми реакциями. Это не совсем удачное название не надо понимать так, что эти реакции идут т о л ь к о в темноте. Они могут, конечно, итти и на свету, но без того, чтобы свет прямо влиял на их осуществление.

А между тем все эти вопросы являются важнейшими для познания сущности механизма фотосинтеза, и по многим из них имеется уже значительный экспериментальный материал, дающий возможность строить схемы фотосинтеза, во многих отношениях хорошо обоснованные.

Одним из наиболее существенных вопросов при решении проблемы механизма фотосинтеза является вопрос о месте сосредоточения световых фотохимических и энзиматических реакций, не требующих для своего осуществления света.

Представления авторов XIX и начала XX века сводились к тому, что в процессе фотосинтеза действие света направлено непосредственно на разложение и восстановление CO_2.

Однако уже К. А. Тимирязев в своих работах неоднократно ставил вопрос о том, что хлорофилл, поглощая энергию, направляет ее также и на разложение воды.

В пользу последней точки зрения в дальнейшем стало накапливаться все больше и больше фактов и, в конечном итоге, по современным представлениям основной фотохимической реакцией фотосинтеза является фотоокисление воды и мобилизация ее водорода на промежуточных катализаторах, которые обусловливают перенос водорода на CO_2.

Среди работ, которые подтверждают эту точку зрения, необходимо отметить серию работ с изолированными из живых листьев хлоропластами, гранулами, «зелеными растворами». Этими работами было показано, что суспензии выделенных из живых листьев хлоропластов, гранул и даже растворы «хлоропластина» сохраняют фотохимическую активность, разлагают воду с выделением кислорода и восстанавливают целый ряд окислителей, как трехвалентное железо (реакция Хилла), хиноны (реакция Варбурга [23]), ортодинитробензол (Гуревич [24]) и т. д.

Установлено, что квантовый выход реакции выделения кислорода в хилловской реакции близок к квантовому выходу выделения кислорода в процессе фотосинтеза.

Это дает основание считать, что хилловская реакция светового окисления воды с мобилизацией водорода на промежуточном акцепторе и выделением свободного кислорода идентична световой стадии нормального фотосинтеза.

В таком случае можно предполагать, что самое восстановление CO_2 совершается в результате энзиматических реакций, не требующих света.

Веским доводом в пользу такого истолкования этой детали механизма процесса фотосинтеза служат следующие факты.

Еще в прошлом веке крупный русский ученый С. Н. Виноградский [25, 26] открыл несколько автотрофных бактерий, которые способны усваивать CO_2 и синтезировать органические вещества без участия света за счет энергии окисления ряда неорганических веществ: аммиака до нитритов и нитратов, закисного железа до окисного. Этот факт говорит о том, что усвоение и восстановление CO_2 с образованием органического вещества осуществляется не обязательно при участии света.

В дальнейшем Гафрон [27] показал, что усвоение CO_2 может происходить в темноте и у зеленых организмов.

Гафрон адаптировал одноклетные зеленые водоросли к существованию в бескислородной среде. Снабжая суспензию их водородом, он наблюдал усвоение CO_2 водорослью в отсутствии света.

В качестве восстановителя CO_2 служил подводимый в суспензию водород.

Этот факт убедительно говорит о том, что для самой фиксации и восстановления CO_2 зелеными организмами свет не нужен. Эти реакции осуществляются при помощи энзимов. Световые же фотохимические реакции направлены на мобилизацию водорода. Если же он дается в суспензию адаптированной водоросли, например, в виде газа, то усвоение CO_2 может итти и вообще без света.

Наконец, работы последних лет показали, что темновое усвоение CO_2 представляет собой вообще явление широко

распространенное и не только у автотрофных, но и у гетеротрофных организмов. Так Вудом и Веркманом и другими исследователями [25 и 26] было установлено, что способностью фиксировать и усваивать CO_2 обладают и бесцветные организмы (грибы, бактерии) и даже ткани животных. Это явление получило название гетеротрофной фиксации углекислоты.

Большую роль в познании механизма фотосинтеза сыграли работы Ван-Ниля [29, 30], изучавшего усвоение CO_2 пурпурными и зелеными серобактериями, обитающими в среде, богатой сероводородом. Как установил Ван-Ниль, эти бактерии усваивают CO_2 при наличии света, но не выделяют кислород как фотосинтезирующие организмы, а окисляют сероводород до серы.

Ван-Ниль установил, что процесс можно изобразить следующим уравнением:



$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{свет}} CH_2O + H_2O + 2S.$$

В этом процессе, как видно, сероводород служит источником водорода для восстановления CO_2.

В отличие от фотосинтеза этот процесс получил название фоторедукции.

В дальнейшем были открыты и другие фоторедуцирующие организмы, использующие для восстановления CO_2 либо молекулярный водород (H_2), либо $H_2S_2O_3$, либо некоторые органические вещества (RH_2).

Таким образом, работы последних лет приводят нас к интересному представлению о возможной генетической связи между различными типами усвоения CO_2 живыми организмами и об углеродном питании их.

В основе этих связей лежит постепенное развитие функции темновой фиксации CO_2 при использовании на это различных доноров водорода и различных источников энергии.

Эти отношения изображены в нижеследующей схеме:

Тип усвоения CO_2	Доноры водорода	Источники энергии
Фиксация CO_2 гетеротрофными организмами	Органические вещества	Окисление органических веществ
Хемосинтез	Вода Аммиак . . . . ?	Окисление главным образом неорганических веществ
Фоторедукция (серобактерии)	H_2, H_2S, $H_2S_2O_3$, RH_2	Энергия света
Фотосинтез	H_2O	Энергия света

Можно допустить, что способность к фиксации CO_2 без участия света как общебиологическая реакция возникла у живых организмов еще на заре возникновения жизни, в период, когда первичные органические вещества, находившиеся на земле, согласно теории академика А. И. Опарина [31], на первых этапах ее истории, стали превращаться в живую материю, а последняя — в первичные организмы.

В это время на земле не было свободного кислорода и фиксация CO_2 осуществлялась, вероятно, за счет интрамолекулярных окислений органических веществ.

Фиксация CO_2, осуществляемая таким образом, могла сводиться только с отрицательным балансом органического вещества и энергии.

Если же рассматриваемая функция сохранялась и развивалась, то только благодаря тому, что она имеет какое-то важное значение в жизнедеятельности организмов не только как функция питания.

Однако она могла развиться и получить значение основной функции углеродного питания по мере того, как стали возникать способности использовать внешние источники энергии для усвоения и восстановления CO_2.

Таким источником энергии могла быть прежде всего энергия солнечного света.

Так, вероятно, возникла прежде всего функция фоторедукции, где в условиях анаэробной среды организмы, приобретшие пигменты, стали усваивать и восстанавливать CO_2 за счет энергии солнечного света и с использованием таких доноров водорода, как H_2S, $H_2S_2O_3$, некоторые органические вещества (RH_2) или, наконец, молекулярный водород.

Однако это специфические и относительно мало распространенные восстановители, и, в силу этого, функция фоторедукции не получила широкого развития.

Но дело коренным образом изменилось, когда, наряду с повсеместно распространенным источником энергии (солнечный свет), стал использоваться и повсеместно распространенный донор водорода — вода, т. е. возник фотосинтез.

Благодаря универсальности, неспецифичности и практической неиссякаемости источника углеродного питания — CO_2, источника энергии — солнечного света и источника водорода — воды, фотосинтезирующие растения получили широчайшее распространение и стали первоисточником органического вещества для всех других организмов.

Так, вероятно, возникла та функция зеленых растений, которой К. А. Тимирязев придавал столь важное значение и которая определила возможность выполнения зелеными растениями «космической роли».

Итак, по современным воззрениям, фотосинтез представляет собой одну из разновидностей углеродного питания растений, возникшую из предшествующих ей типов углеродного обмена путем развития функции темновой фиксации CO_2, с одной

стороны, и эволюции способов использования энергии и источников водорода для восстановления — с другой.

Таким образом, темновая часть фотосинтеза, судя по современным представлениям, не менее важна, чем световые реакции этого процесса. Во всяком случае, именно в результате темновых реакций образуются первые прямые продукты фотосинтеза.

Описанный выше взгляд находит отражение в более новых схемах фотосинтеза. Для примера мы приведем здесь схему Рабиновича [16], изображенную на следующей странице.

Как видно, Рабинович предполагает, что в процессе фотосинтеза осуществляются фотохимические реакции только одного типа, а именно окислительно-восстановительная реакция, в результате которой образуется окислитель воды, вероятно, окисленная форма хлорофилла.

По его схеме восстановлению одной молекулы CO_2 соответствует 8 фотоактов. Энергия восьми этих квантов оказывается сосредоточенной в 8 водородных связях промежуточного восстановителя HY.

В качестве последующих ступеней Рабинович предусматривает несколько последовательных реакций дисмутации энергии так, что в конечном счете получается промежуточный восстановитель HX, аккумулирующий большой запас энергии и обладающий высокой восстановительной способностью, что и создает возможность непосредственного восстановления карбоксильной группы.

Таким образом, основная идея схемы заключается в том, что в световой части фотосинтеза происходит мобилизация водорода, аккумулирование энергии и образование восстановителей, которые обеспечивают восстановление CO_2 уже темновым путем. Эта идея находит все больше и больше экспериментальных подтверждений.

Важным доказательством в пользу этого положения служат работы Н. П. Красинского [32], установившего сильные из-

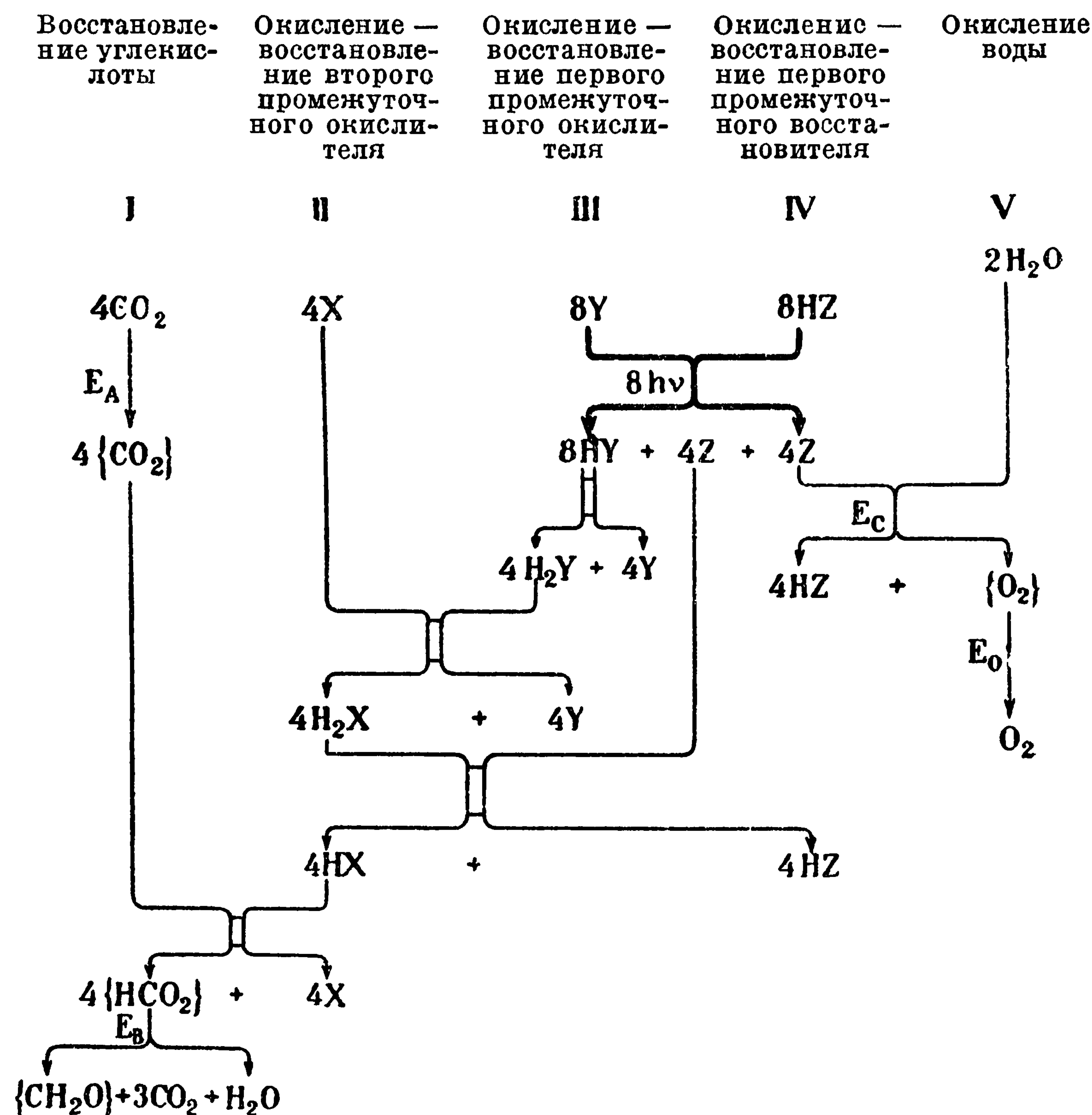
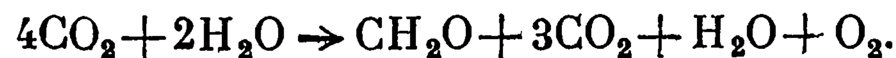


Схема фотосинтеза Рабиновича [16]

Фотохимические реакции (обозначены жирными линиями — стрелками) представляют собой реакцию окисления — восстановления между окислителем и восстановителем HZ (восстановленный хлорофилл?). В результате дисмутации энергии при последующих окислениях — восстановлениях, в которых участвуют промежуточные окислители и восстановители Y, HY, H_2Y, X. H_2X и HX, энергия восьми квантов ($h\nu$) сосредоточивается в 4-х молекулах восстановителя HX, который в результате темновых энзиматических реакций и восстанавливает CO_2. E_A, E_B, E_C — катализаторы-энзимы, которые обеспечивают осуществление реакций, идущих без участия света. Брутто-уравнение схемы



$$4CO_2 + 2H_2O \rightarrow CH_2O + 3CO_2 + H_2O + O_2.$$

менения окислительно-восстановительного потенциала листьев в восстановительную сторону при экспонировании листьев на свету.

Как доказательство того, что в результате световых реакций образуются активные восстановители, которые затем восстанавливают CO_2 в темноте, большой интерес представляют работы Бенсона и Кальвина [33, 34]. Авторы работали с водорослями хлореллы и сценедесмус. Одна часть суспензии выдерживалась в темноте с CO_2, другая на свету без CO_2. Предполагалось, что в последнем случае восстановители сохранятся в активном состоянии, не будучи использованы на восстановление CO_2. Затем образцы помещались в темноте в атмосферу с CO_2, содержащей радиоактивный изотоп углерода C_{14}. После этого пробы фракционировались, и в различных фракциях определялось относительное содержание C_{14}. Анализы показывали, что проба, предварительно выдержанная на свету без CO_2, усвоила затем за 5 минут в темноте в 5,5 раза больше C_{14}, чем проба, бывшая предварительно в темноте.

Полученные результаты авторы истолковывают следующим образом: в результате световых реакций в растении образуются активные восстановители, которые восстанавливают CO_2 темновым путем.

Все указанные факты представляют собой крупный шаг вперед в развитии наших знаний по механизму фотосинтеза.

Однако они далеко еще не полно вскрывают важные детали этого процесса.

Доказательством тому является тот факт, что многочисленные и разнообразные попытки исследователей воспроизвести процесс в искусственных системах до последнего времени не давали положительных результатов.

В этой области предстоит еще большая работа, так как и до настоящего времени нет еще вполне точных представлений по таким важным вопросам, как:

1. Природа поглощения энергии и возбужденного состояния хлорофилла.

2. Природа передачи энергии хлорофиллом на другие молекулы, т. е. механизм участия в процессе хлорофилла и других пигментов.

3. Механизм фотоокисления воды и выделения кислорода ее в свободном виде.

4. Природа и число промежуточных катализаторов — переносчиков водорода от воды на CO_2.

5. Природа и механизм концентрирования в одной молекуле продукта восстановления CO_2 энергии минимум 3—4 квантов света.

6. Природа и характер действия ферментов, обеспечивающих осуществление темновых реакций фотосинтеза и, прежде всего, реакций восстановления CO_2.

Надо отметить, что в решении последнего вопроса успешную работу ведет Е. А. Бойченко [35,36], которой удалось показать участие в этих реакциях дегидразных систем и, создавая подходящие для их работы условия, вызвать восстановление CO_2 в суспензиях хлоропластов.

Мы перечислили только незначительную часть важных вопросов, связанных с изучением фотосинтеза.

Учитывая чрезвычайную сложность всей проблемы в целом, К. А. Тимирязев писал в свое время следующее:

«...как специалист я коротко знаком с его (вопроса о фотосинтезе) трудностями и из этого знакомства я вынес убеждение, что для дальнейшего успеха необходимо, чтобы вопрос этот обратил на себя внимание, чтобы в нем приняли участие, все равно *делом* или *советом*, представители самых разнородных отраслей естествознания».[1]

Это указание К. А. Тимирязева оказалось столь же важным, как и многие другие его предвидения и мнения.

[1] «О физиологическом значении хлорофилла». Сочинения, т. I, стр. 361.

Наиболее крупные достижения в области фотосинтеза действительно получены в результате совместных усилий ботаников, химиков, физиков.

Необходимость этих совместных усилий сейчас не только не уменьшилась, но даже увеличилась: одну из сложных тайн природы приходится раскрывать самыми совершенными, самыми современными и многообразными методами химии, физики, физической химии и биологии.

Эти усилия оправдываются теми громадными перспективами в овладении силами природы, которые намечаются в связи с полным познанием природы фотосинтеза.

В связи с этим надо напомнить слова академика С. И. Вавилова, произнесенные им на открытии Всесоюзной конференции по фотосинтезу в 1946 году [37]: «Весьма возможно, что сложность фотосинтеза зависит не только от запутанного переплетения многих физико-химических областей уже известных. Возможно, что они заключают в себе также и новые стороны, до сих пор даже с принципиальной стороны оставшиеся скрытыми от общих наук».

Эта возможность делает проблему фотосинтеза тем более важной, интересной и необходимой для самого интенсивного изучения.

Русские ученые, развивая наследие К. А. Тимирязева, внесли в изучение процесса фотосинтеза громадный вклад.

Ученик и продолжатель дела К. А. Тимирязева профессор Ф. Н. Крашенинников [38] провел работы, в которых он впервые доказал накопление энергии ассимилирующим листом. Учитывая суммарный эффект фотосинтеза и прибыль энергии в листьях, экспонировавшихся на свету, он установил, что в листьях образуются продукты, теплота сгорания которых близка к теплоте сгорания углеводов.

В. В. Сапожников [39, 40] еще в 1890 и 1894 годах провел важные работы, которые ждут продолжения. На основании тщательных учетов продуктов, образующихся в листьях в про-

цессе фотосинтеза, он установил, что состав продуктов сложен и что наряду с углеводами в процессе фотосинтеза образуются, вероятно, и белки.

Важные по своему значению и тщательные по технике работы провел К. А. Пуриевич [41], доказавший факт утилизации энергии света на синтез органического вещества путем учета ее до и после поглощения листьями, находящимися на свету в атмосфере с CO_2 и без нее.

Исключительные по своему значению работы для познания природы пигментов зеленого листа выполнил русский ботаник М. С. Цвет [42], разработавший совершенный метод разделения пигментов (хроматографический метод), проведший эти разделения и создавший твердую основу для дальнейшего изучения их природы.

Имена русских ученых, идейных продолжателей дела К. А. Тимирязева в области фотосинтеза, А. Н. Баха, А. А. Рихтера, С. П. Костычева, Д. И. Ивановского, В. Н. Любименко, Л. А. Иванова, Т. Н. Годнева стоят в первом ряду исследователей в этой области, и их работы пользуются широкой и заслуженной известностью.

Труды К. А. Тимирязева должны служить вдохновляющим примером для дальнейшего развития работ по фотосинтезу в нашей стране. Советские исследователи обязаны уделить этой важнейшей проблеме биологии такое внимание, которое вполне соответствовало бы и ее значению и заветам нашего великого соотечественника К. А. Тимирязева.

* * *

В настоящем сборнике помещены восемь работ К. А. Тимирязева.

Одна из них — «Прибор для исследования воздушного питания листьев. . .» — первая экспериментальная работа молодого Климента Аркадиевича, выполненная тогда, когда ему было еще 24 года.

Эта работа представляет большой интерес в том отношении, что уже в ней К. А. в точных и ярких словах сформулировал основные вопросы и задачи работ по выяснению механизма фотосинтеза, — вопросы и задачи, к разрешению которых он сам стремился в течение всей своей жизни.

Две другие работы — «Спектральный анализ хлорофилла» (1871) и «Об усвоении света растением» (1874) — представляют собой наиболее важные этапы деятельности К. А. Тимирязева в области изучения фотосинтеза.

Первая из них была написана и защищена К. А. Тимирязевым, как магистерская диссертация, вторая — как диссертация на степень доктора ботаники. В этих именно работах К. А. Тимирязев подробно изучил спектральные кривые хлорофилла, спектральные кривые фотосинтеза и доказал ошибочность взглядов Дрепера, Сакса и других иностранных ученых, выдвинув в противовес им точку зрения о строгом соответствии между количественными данными поглощения энергии и эффектом фотосинтеза.

Работы «Зависимость фотохимических явлений от амплитуды световой волны» (1884) и «Фотохимическое действие крайних лучей видимого спектра» (1892) отражают стремление К. А. Тимирязева не только констатировать факт наличия фотосинтеза в лучах, поглощаемых хлорофиллом, но и дать этому явлению физическое и физиологическое объяснение.

Еще две работы — «Искусственный протофиллин» (1886) и «Протофиллин в живом растении» — (1889) включены в сборник как отражающие мысли К. А. Тимирязева о возможных путях и условиях образования и превращений хлорофилла в живом листе.

Наконец, сборник избранных работ завершается знаменитой Крунианской лекцией К. А. Тимирязева, прочитанной в Лондонском королевском обществе в 1903 г.

В этой лекции К. А. Тимирязев в блестящей форме подводит итоги своих тридцатилетних работ в области фотосинтеза, освещая в ней все основные их результаты.

Для того чтобы сделать сборник наиболее доступным, в него не были включены некоторые другие работы К. А. по фотосинтезу, хотя и представляющие большую ценность, но не содержащие принципиально новых положений по сравнению с теми, которые содержатся в работах, помещенных в настоящем сборнике.

Тем не менее необходимо горячо .рекомендовать читателям знакомство и с такими произведениями великого ученого и популяризатора, как: «Почему и зачем растение зелено» (1886), «Растение, как источник силы» (1875), «Действие света на хлорофилловое зерно» (1874), «О физиологическом значении хлорофилла» (1879), «Современное состояние наших сведений о функции хлорофилла» (1884). Все эти работы имеются в собрании сочинений К. А. Тимирязева, изданном Сельхозгизом в 1937—1940 гг. по постановлению Совета Народных Комиссаров СССР.

В конце нашего сборника даем перевод на русский язык эпиграфов и цитат, приводимых К. А. Тимирязевым из работ иностранных ученых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катунский, В. М. 1939. Об изменениях фотосинтетической деятельности растений в процессе их роста и развития в связи с проблемой углекислотного удобрения. Изв. АН СССР. Сер. биолог., 1, стр. 85—102.
2. Равич, М. Б. 1946. Поверхностное горение. Изд. АН СССР. М.—Л.
3. Красинский, Н. 1934. Электросветокультура и удобрение углекислотой в оранжерейном хозяйстве. Из работ сектора зеленого строительства Академии коммунального хозяйства. За социалистическую реконструкцию городов, 3, стр. 48—52.
4. Рихтер, А. А. и Васильева Н. Г. 1941. Повышение фотосинтеза опрыскиванием микроэлементами. ДАН СССР, **30**, 7, стр. 654—655.
5. Заблуда, Г. В. 1938. Физиологическое действие меди на растение. Тр. Чувашск. с.-х. института, Чебоксары, стр. 51.
6. Оканенко, А. С. 1926. Исследование значения количества хлорофилла у сахарной свеклы. Дневник Всес. съезда ботаников в Москве в январе 1926 г., стр. 136—137.
7. Годнев, Г. Н. 1947. Строение хлорофилла и возможные пути его образования в растении. VII Тимирязевское чтение. Изд. АН СССР.
8. Гюббенет, Е. Р. 1946. К истории исследования химии хлорофилла. Природа, 11, стр. 68—80.
9. Любименко, В. Н. 1935. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Сельхозгиз, 320.
10. Любименко, В. Н. 1921. О связи хлорофилла с белками пластид. Дневник I Всеросс. съезда ботаников в Петрограде, стр. 45.
11. Годнев, Т. Н. и Осипова, О. П. 1947. О природе связи хлорофилла и белка в хлоропластах. ДАН СССР, **52**, 2, стр. 161—164.
12. Некрасов, Н. И. 1936. Лучистая энергия, химические процессы и фотосинтез. Сборн. памяти К. А. Тимирязева, стр. 171—214.

13. Красновский, А. А. 1946. Современные представления о фотосинтезе. Успехи совр. биологии, **31**, 2, стр. 153—184.

14. Красновский, А. А. 1947. О фотохимии фотосинтеза. Изв. АН СССР. Серия биолог., 3 (Первая всесоюзная конференция по фотосинтезу 22—26 октября 1946 г.), стр. 377—396.

15. Ничипорович, А. А. 1948. О фотосинтезе растений. Изд. Всесоюзного об-ва по распространению политич. и научных знаний. Москва. 31 стр.

16. Rabinowitch, E. 1945. Photosynthesis and Related Processes. Vol. I. New-York. 599 стр.

17. Вавилов, С. И. 1938. Глаз и солнце. Изд. АН СССР.

18. Виноградов, А. П. и Тейс, Р. В. 1947. Новое определение изотопного состава кислорода фотосинтеза. ДАН СССР, **61**, 1, стр. 57—58.

19. Виноградов, А. П. 1947. Геохимическая история кислорода и фотосинтез. Изв. АН СССР, сер. биолог., 3, стр. 409—422.

20. Ruben, S., Kamen, M. D. and Hasid, W. Z. 1940. Photosynthesis with radioactive carbon. II. Chemical properties of the intermediates. Journ. Amer. Chem. Soc. 62 (12), стр. 3443—3450.

21. Красновский, А. А. 1948. Исследование фотохимических реакций при фотосинтезе. Москва. Диссертация (рукопись).

22. Красновский, А. А. 1948. Обратимое фотохимическое восстановление хлорофилла аскорбиновой кислотой. ДАН СССР, **60**, 3, стр. 421—425.

23. Варбург, О. и Лютгенс В. 1946. Фотохимическое восстановление хинона в зеленых гранулах. Биохимия, 11, 4, стр. 303—322.

24. Гуревич, А. А. 1947. О восстановлении орто-динитробензола на свету хлоропластами вне клетки. ДАН СССР, **60**, 3, стр. 267—270.

25. Wood, G. 1946. The Fixation of Carbon Dioxide and the Inter-Relationships of the Tricarboxylic Acid Cycle. Physiological Reviews, 26, 2, стр. 198—246.

26. Аристовская, Г. В. 1944. Значение CO_2 в жизнедеятельности гетеротрофного микроорганизма. Успехи современной биологии, **27**, 1, стр. 54—70.

27. Gaffron, H. 1940. Carbon dioxide reduction with molecular hydrogen in green algae. American Journal of Botany. 27, 5, стр. 273—283.

28. Gaffron, H. 1942. Reduction of carbon dioxide coupled with the oxyhydrogen reaction in algae. Journ. General Physiology, 26, 2, стр. 241—267.

29. Van Niel, C. B. 1930. Photosynthesis of Bacteria. Contrib. to Marine Biol. (Stanford Univ. Press), стр. 161—169.
30. Van Niel, C. B. 1941. The Bacterial Photosynthesis and their Importance for the General Problem of Photosynthesis. Advances in Enzymology and related subjects. 1, стр. 263—328.
31. Опарин, А. И. 1946. Возникновение жизни на земле. Москва. Молодая гвардия.
32. Красинский, Н. П., Валутина, В. А. и Пряхина, Е. А 1947. Влияние фотосинтеза на окислительно-восстановительный режим клеток листовых тканей. ДАН СССР, 58, 7, стр. 1521—1524.
33. Benson, A. and Calvin, M. 1947. The dar Reductions of Photosynthesis. Science, June 20, 105, 2738, стр. 648.
34. Calvin, M. a. Benson, A. A. 1948. The Path of Carbon in. Photosynthesis. Science, 107, 2784, стр. 476—480.
35. Бойченко, Е. А. 1946. Выделение водорода изолированными хлоропластами. ДАН СССР. 52, 6, стр. 525—528.
36. Бойченко, Е. А. 1948. Активирование молекулярного водорода гидрогеназой хлоропластов. Биохимия, 13, 3, стр. 219—225.
37. Известия АН СССР, 1947. Серия биол. 3 (Первая всесоюзная конференция по фотосинтезу 22—26 октября 1946 г.).
38. Крашенинников, Ф. Н. 1901. Накопление солнечной энергии в растении. Москва.
39. Сапожников, В. В. 1890. Образование углеводов в листьях и передвижение их по растению. Москва, 69 стр.
40. Сапожников, В. В. 1894. Белки и углеводы зеленых листьев как продукты ассимиляции. Томск, 61 стр.
41. Пуриевич, К. 1913. Исследования над фотосинтезом. Записки Киевск. о-ва естествоисп., т. XXIII.
42. Цвет, М. С. 1946. Хроматографический адсорбционный анализ. Изд. АН СССР, 273 стр.

ПРИМЕЧАНИЯ

ПЕРЕВОД ЭПИГРАФОВ И ЦИТАТ

[1] *(К стр. 33).* Это последнее (красное пространство) значительно превосходит видимое пространство солнечного спектра и *является результатом флуоресценции.*

[2] *(К стр. 53).* Этот раствор *не* казался *красным* при рассматривании его перед пламенем.

[3] *(К стр. 85).* Я с удовольствием смотрю, как частицы света сочетаются в тела, и я с удовольствием думаю, что они вновь подействуют на наше зрение в пламени горючих веществ; мне кажется, будто я вижу, как свет образует смолы, столь родственные ему, маслянистые вещества, преисполненные его теплом и его яркостью, спиртообразную часть семян и плодов, насыщенных его огнем... Наконец, тот флогистон, который свет образует в растениях, не может ли быть источником того флогистона, который совершает круговорот в прочих царствах?

Сенебье. Физико-химические статьи, III, 1783.

[4] *(К стр. 85).* Природа поставила своей задачей улавливать налету изливающийся на землю свет и накоплять самую подвижную из всех сил, превратив ее в неподвижную форму. Для достижения этой цели природа покрыла земную кору организмами, которые при жизни воспринимают в себя солнечный свет и при использовании этой силы порождают постоянную сумму химической разности. Этими организмами являются р а с т е н и я. Растительный мир образует резервуар, в котором слагаются закрепленными летучие солнечные лучи, ниспосанные для пользования.

Р. Майер. Механика теплоты, стр. 53.

[5] *(К стр. 86).* Таким образом, деятельная сила солнечного света исчезает, тогда как в растениях образуются и накопляются горючие вещества, и мы можем с большой вероятностью предполагать, что первое есть причина второго. Но я все-таки должен заметить, что у нас еще нет опытов, из которых можно было бы заключить, соответствует ли живая сила исчезнувших солнечных лучей накопившемуся за то же время запасу химических сил, а пока таких опытов нет, мы не можем рассматривать приведенное соотношение, как достоверное. Если этот взгляд подтвердится, то из него получится лестный для нас вывод, что все силы, которыми наше тело живет и двигается, ведут свое происхождение прямо из чистейшего солнечного света.

Г. Гельмгольц. О взаимодействии сил природы, стр. 127, 1854.

[6] *(К стр. 97).* Это случайно те же лучи, какие вызывают в нашей сетчатой оболочке впечатление самого яркого света; я говорю «случайно», так как мы не можем себе представить причинной связи, по которой световые лучи, поскольку они производят на нас впечатление большей или меньшей яркости, влияют также сильнее или слабее на выделение кислорода растением.

Сакс. Сочинения, II, стр. 284.

[7] *(К стр. 97).* Если бы это было возможно ... мы имели бы действительный как бы закон природы, который лишен, правда, всякой причинной связи, но который зато представлял бы собою необъясненное чудо. Однако дело не так плохо.

Сакс. Учебник, стр. 205.

[8] *(К стр. 99).* Он (флогистон) кажется мне светом угасшим, но готовым вспыхнуть.

[9] *(К стр. 153).* Как показали я и Пфеффер, может быть применен, как количественный, даже для точных измерений.

[10] *(К стр. 165).* Растения поглощают одну силу — свет и производят другую — химическую разность. Закон логической причинности понуждает естествоиспытателя приводить поглощение и производимую работу в причинную связь.

Р. Майер. Механика теплоты.

[11] *(К стр. 214).* Тепло которое образуется при поглощении световых лучей, *в момент* своего возникновения необходимо должно существовать в почти бесконечно малых пространствах, и, следовательно, только в телах непостижимо малых оно может производить длительное действие, в какой-либо мере указывающее на его крайнюю интенсивность.

[12] *(К стр. 223).* Призма в общем гораздо удобнее решетки.

[13] *(К стр. 225).* Теперь лучше всего действуют красные, т. е. цель была превзойдена.



СОДЕРЖАНИЕ

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПИТАНИЯ ЛИСТЬЕВ И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЯМ ПОДОБНОГО РОДА (1867) 7

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХЛОРОФИЛЛА (1871) 17

ОБ УСВОЕНИИ СВЕТА РАСТЕНИЕМ (1874) 85

ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ОТ АМПЛИТУДЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ (1884) 212

ФОТОХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ КРАЙНИХ ЛУЧЕЙ ВИДИМОГО СПЕКТРА (1892) 219

ИСКУССТВЕННЫЙ ПРОТОФИЛЛИН. (ХЛОРОФИЛЛ И РАЗЛОЖЕНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ РАСТЕНИЯМИ) (1886) 226

ПРОТОФИЛЛИН В ЖИВОМ РАСТЕНИИ (1889) 230

КОСМИЧЕСКАЯ РОЛЬ РАСТЕНИЯ (1903) 234

ПРИЛОЖЕНИЯ

А. А. Ничипорович. Тимирязев — основоположник современного направления работ по изучению механизма фотосинтеза 299

Литература 345

Примечания. Перевод эпиграфов и цитат 348

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *Е. И. Авдусина.*
Технический редактор *М. Л. Темерлин.*
Корректор *В. Г. Богословский.*

*

РИСО АН СССР № 3466. А—11822. Издат. № 1918.
Тип. заказ № 1714. Подп. к печ. 26/XI 1948 г.
Формат бум. $70 \times 92^1/_{16}$. Печ. л. 22+ 6 вклеек.
Уч.-изд. 17. Тираж 10000.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д. 10

К.А.ТИМИРЯЗЕВ

ИЗБРАН-
НЫЕ
РАБОТЫ
ПО
ХЛОРО-
ФИЛЛУ



